



Andreia Mirão Carlinhos

Licenciatura de Bolonha em Engenharia do Ambiente e Biológica
– Ramo Engenharia do Ambiente

Utilização Eficiente de Sistemas de Iluminação

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Energias
Renováveis - Conversão Eléctrica e Utilização Sustentável

Orientador: João Francisco Martins, Professor Auxiliar - FCT/UNL
Co-orientador: João Carlos Fonseca, Director - Home Energy/EDP

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Mário Fernando da Silva Ventim Neves – FCT/UNL
Arguentes: Prof. Mestre Pedro Miguel Ribeiro Pereira – FCT/UNL
Doutora Natália Maria Madeira da Silva Rosa Marques dos Santos – ESTS/IPS
Vogais: Prof. Doutor João Francisco Alves Martins – FCT/UNL
Licenciado João Carlos Fonseca – Home Energy/EDP



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2011

A presente dissertação intitulada “Utilização Eficiente de Sistemas de Iluminação”, escrita por mim, Andreia Mirão Carlinhos, tem o seguinte COPYRIGHT:

“A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.”

Agradecimentos

Ao meu orientador, Professor João Martins pelo apoio, conselho e orientação no desenvolvimento desta dissertação.

À Home Energy – EDP, nomeadamente, ao Engenheiro João Fonseca pela cedência de dados e informações, disponibilidade e apoio imprescindíveis à realização da presente dissertação.

Ao meu namorado pelo amor, incentivo, companheirismo e paciência em todos os momentos.

Aos colegas e amigos, Sofia Abelho, Patrícia Bravo, João Ferreira e Fábio Faria pela pronta ajuda sempre que necessário.

À minha família, especialmente aos meus pais e irmão, por serem uma fonte inesgotável de confiança, apoio, incentivo e compreensão em todos os momentos difíceis.

A todos eles o meu eterno

MUITO OBRIGADO!

Resumo

A presente dissertação tem por objectivo a sistematização dos novos sistemas/tecnologias de iluminação disponíveis no mercado, ou em fase de I&D, e a avaliação do seu potencial. Será desenvolvida uma metodologia que estabeleça os critérios necessários à substituição de antigos sistemas de iluminação por sistemas mais eficientes e, consequentemente, mais “amigos do ambiente”.

Numa fase inicial foram estudadas características das fontes, características das luminárias, principais componentes de iluminação, tais como os tipos de lâmpadas, balastros e luminárias e ainda os tipos de controlo que permitem melhorar a eficiência energética em sistemas de iluminação.

Numa segunda fase, foi realizado um estágio na Home Energy – EDP, onde foram analisados os sistemas de iluminação existentes em Supermercados, usando como estudo de caso, Pingo Doce de Famões. No estudo foi feita uma análise da eficiência dos sistemas de iluminação existentes e das vantagens da sua substituição por equipamentos energeticamente mais eficientes.

Este estudo baseou-se numa metodologia faseada com o objectivo de atingir as condições desejadas para um dado edifício com sistemas de iluminação energeticamente mais eficientes. As fases consideradas consistem nas alterações das lâmpadas, de luminárias ou mesmo dos circuitos eléctricos. Após estas alterações prossegue-se a uma análise de custos das diversas soluções para seleccionar o melhor investimento. Caso nenhuma destas fases conduza às condições pretendidas não existe uma solução energeticamente eficiente e economicamente viável para a instalação em causa.

Relativamente ao caso de estudo, a aplicação da metodologia desenvolvida ao sistema de iluminação permitiu constatar que o seu desempenho não é adequado, na medida em que os níveis de iluminação não garantem o conforto visual nos espaços iluminados e, por outro lado, a iluminação existente não é a mais eficiente. Assim, foram propostas soluções para melhorar a eficiência energética deste sistema de iluminação, as quais são apresentadas nesta dissertação.

Palavras-chave: Eficiência energética, Sistemas de iluminação, Sistemas de iluminação em supermercados e Iluminação artificial.

Abstract

The present dissertation aims at the systematization of new systems illumination/technology available in the market, or in phase I&D, and the evaluation of its potential. A methodology will be developed that will establish the criteria necessary to replace old systems of illumination to more efficient systems and, therefore, more "environmentally friendly".

At an early stage were studied characteristic sources, characteristic of luminaires, main components of illumination, such as the type of lamps, ballasts, luminaires and also the types of control for improving energy efficiency in illumination systems.

A second step was performed at Home Energy EDP, where systems of illumination in Supermarkets were analyzed, using as a case of study, Pingo Doce of Famões. During the study, it was done an analysis of the efficiency of existing illumination systems, and the advantages of its replacement by efficient energy equipment.

This study was based on a phased approach with the aim of achieving the desired condition for a given building with more efficient illumination system. This approach consists on modifying lamps, luminaires or even the electric circuit. In order to choose the better investment, after the modifications, it's created an analysis of costs of all solutions. If any of the modifications, mentioned earlier, don't lead to the desired conditions then there isn't a possible efficient and economic illumination solution for this system.

With regard to the study case, the implementation of the approach of illumination system allowed to evidence that its performance is not suitable in so far as illumination levels can't guarantee visual comfort in illuminated areas and, on the other hand, the existent illumination is not the most efficient. So, to improve energy efficiency in illumination systems, there are some solutions as presented in this dissertation.

Keywords: Energy efficiency, Lighting systems, Lighting systems in supermarkets and Artificial lighting.

Índice de Matérias

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Consumo de Energia a nível mundial em Portugal	1
1.2. Motivações e objectivos	3
1.3. Organização da dissertação	3
CAPÍTULO 2 – POLÍTICAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	5
2.1. Eficiência energética	5
2.2. Intensidade energética	7
2.3. Eficiência energética em Sistemas de Iluminação	8
CAPÍTULO 3 - SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO.....	11
3.1. Características dos Supermercados.....	11
3.2. Iluminação nos Supermercados	11
3.3. Iluminação de Zonas	12
3.4. Características das fontes	14
3.4.1. Fluxo luminoso.....	14
3.4.2. Iluminância	14
3.4.3. Índice de reprodução de cor	15
3.4.4. Temperatura de cor	16
3.4.5. Eficiência Luminosa.....	17
3.4.6. Vida útil	18
3.5. Características das luminárias	19
3.5.1. Intensidade luminosa.....	19
3.5.2. Curva de distribuição luminosa	20
3.6. Principais componentes de iluminação.....	20
3.6.1. Tipos de lâmpadas	20
3.6.2. Balastros	35
3.6.3. Luminárias	37
3.7. Iluminação natural e Sistemas de controlo de iluminação	38
3.7.1. Iluminação natural	38
3.7.2. Sistemas de controlo de iluminação.....	39
3.7.3. Sistemas de Gestão Centralizada da Iluminação.....	42
3.8. Conclusões	42
CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO	43
4.1. Eficiência energética de sistemas de iluminação em edifícios	43

4.2. Melhoria da eficiência energética nos sistemas de iluminação dos edifícios já existentes ...	45
4.2.1. Auditorias energéticas	45
4.2.2. Metodologia	46
4.2.3. Análise de custos	52
4.3. Conclusões	55
CAPÍTULO 5 – CASO DE ESTUDO.....	57
5.1. Selecção do estudo de caso.....	57
5.2. Descrição dos espaços em estudo	58
5.2.1 Caso de Estudo – Pingo Doce de Famões	58
5.2.2 Análise Individual do sistema de iluminação nas zonas de estudo.....	61
5.2.3 Apresentação de soluções energeticamente eficientes	69
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	79
6.1 Principais conclusões	79
6.2 Perspectivas futuras.....	81
BIBLIOGRAFIA	83
ANEXOS.....	85

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Os 12 grandes Programas do Portugal Eficiência 2015 [8].....	6
Figura 2.2 – Meta de 10% de poupança até 2015[8].	7
Figura 2.3 – Intensidade Energética de Portugal e Média Europeia (Energia final /PIB) [8].....	8
Figura 3.1 – Zona de Frutas e Legumes.....	13
Figura 3.2 – Zona de Talho e Charcutaria.....	13
Figura 3.3 – Zona de Peixaria.....	13
Figura 3.4 – Zona de Café&Bolos.	13
Figura 3.5 – Zona de Vendas e Caixas	14
Figura 3.6 – Índice de reprodução de cores e exemplos de aplicação [11].....	15
Figura 3.7 – Diagrama de Kruithoff [13].	16
Figura 3.8 – Energia espectral dos radiadores integrais segundo a Lei de Planck [14].....	17
Figura 3.9 – Evolução da eficiência luminosa das fontes de luz [15].	18
Figura 3.10 – Curvas de distribuição luminosa [11].....	20
Figura 3.11 – Constituição de uma lâmpada incandescente [16].	21
Figura 3.12 – Decomposição da energia consumida por uma lâmpada incandescente [22].....	21
Figura 3.13 – Ciclo de Halogéneo [22].....	22
Figura 3.14 – Constituição e operação das lâmpadas de tungsténio com reflector de baixa tensão [22].	23
Figura 3.15 – Constituição de uma lâmpada a vapor de mercúrio [12].....	24
Figura 3.16 – Decomposição da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio [22].....	25
Figura 3.17 – Constituição de uma lâmpada a vapor de sódio de alta pressão [12].....	26
Figura 3.18 – Constituição e operação das lâmpadas a vapor de mercúrio de iodetos metálicos [22].....	27
Figura 3.19 – Decomposição da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos [22].	27
Figura 3.20 – Constituição da lâmpada fluorescente tubular [19].....	28
Figura 3.21 – Construção e operação das lâmpadas fluorescentes compactas [22].	30
Figura 3.22 – Constituição da lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão [22].....	30
Figura 3.23 – Constituição da Lâmpada fluorescente de alta potência sem eléctrodos [21].	32
Figura 3.24 – Representação interna do princípio de funcionamento de um LED [25].	33
Figura 3.25 – Espectro de radiação e as cores correspondentes em relação ao comprimento de onda [25].....	34
Figura 3.26 – Visão interior de um LED [27].	35
Figura 3.27 – Diagrama de um balastro electrónico [21].....	36
Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia desenvolvida.	47
Figura 5.1 – Fachada Norte.	58
Figura 5.2 – Vista área do Pingo Doce de Famões.	58
Figura 5.3 – Planta esquemática do edifício. 1- Zona de Frutas e Legumes; 2- Zona de Vendas; 3- Zona da Charcutaria; 4- Zona do Talho; 5- Zona da Peixaria; 6- Zona de Café e Bolos; 7- Zona de Caixas.	59
Figura 5.4 – Esboço exterior do Pingo Doce de Famões.	61

Figura 5.5 – Planta esquemática das zonas em estudo desenvolvida no DIALux. 1- Zona de Frutas e Legumes; 2- Zona de Vendas; 3- Zona da Charcutaria; 4- Zona do Talho; 5- Zona da Peixaria; 6- Zona de Café&Bolos; 7- Zona de Caixas.	62
Figura 5.6 – Representação 3D da Zona de Vendas.	64
Figura 5.7 – Planta geral plano X-Y da Zona de Vendas.....	64
Figura 5.8 – Gráfico de valores dos níveis de iluminação da Zona de Vendas.....	65
Figura 5.9 – Linhas isolux da Zona de Vendas.	65
Figura 5.10 – Linhas isolux da Zona de Vendas com a influência da iluminação total.	66
Figura 5.11 – Linhas isolux dos níveis de iluminação para a Zona de Fruta e Legumes dependentes dos restantes sistemas de iluminação.....	67
Figura 5.12 – Níveis de iluminação médio, máximo e mínimo para os diversos tipos de zona.	68
Figura 5.13 – Percentagem da Potência Total no edifício.	69
Figura 5.14 – Gráfico de valores dos níveis de iluminação da Zona de Vendas com a proposta de melhoria.	70
Figura 5.15 – Linhas isolux da proposta de melhoria para a Zona de Vendas.....	70
Figura 5.16 – Níveis de iluminação médio, máximo e mínimo para os diversos tipos de zona.	71
Figura 5.17 – Representação gráfica da poupança das lâmpadas actuais em comparação com as soluções apresentadas.....	73
Figura 5.18 – Representação da lâmpada existente e de substituição [4].	75
Figura 5.19 – Economias efectuadas com a implementação do novo projecto.....	76

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 – Níveis médios de iluminância recomendados para supermercados [10].	12
Tabela 3.2 – Temperatura de cor e respectivas aparências e tonalidades de cor [13].	16
Tabela 3.3 – Principais características das fontes para diversas lâmpadas [12].	19
Tabela 3.4 – Classe de eficiência energética dos balastros [21].	37
Tabela 3.5 – Distribuição de luz emitida por vários tipos de luminárias [23].	38
Tabela 3.6 – Comparação de vários controlos de ocupação [31].	41
Tabela 5.1 – Características do Sistema de Iluminação do Pingo Doce de Famões.	60
Tabela 5.2 – Custo energético do Sistema de Iluminação do Pingo Doce de Famões.	60
Tabela 5.3 – Níveis de iluminação reais por tipo de zona.	63
Tabela 5.4 – Níveis de iluminação determinados pelo <i>DIALux</i> por tipo de zona.	63
Tabela 5.5 – Potência total utilizada nos sistemas de iluminação existentes no edifício.	68
Tabela 5.6 – Níveis de iluminação das soluções de melhoria determinados pelo <i>DIALux</i> .	71
Tabela 5.7 – Estudo efectuado ao nível de emissões de CO ₂ , consumo de energia e investimento.	72
Tabela 5.8 – Informações relevantes para as propostas de melhoria.	74
Tabela 5.9 – Estudo efectuado na globalidade do projecto.	75
Tabela 5.10 – Propostas de melhoria para a Zona de Frutas e Legumes.	75

Lista de acrónimos e abreviaturas

η	Eficiência Luminosa
a	Taxa de actualização
A_p	Área útil
cd	Candela
CDL	Curva de Distribuição Luminosa
CEN	Comité Europeu de Normalização
CO ₂	Dióxido de Carbono
E	Iluminância ou Nível de Iluminação
E_c	Energia consumida
E_m	Iluminância média
GEE	Gases de Efeito de Estufa
Hz	Hertz
I	Intensidade luminosa
IEE	Indicador de Eficiência Energética
IEEI	Indicador de Eficiência Energética de Aquecimento
IEE _{ref}	Indicador de Eficiência Energética de Referência
IEEV	Indicador de Eficiência Energética de Arrefecimento
I_j	Investimento total do ano j
IRC ou RA	Índice de Reprodução de Cores
K	Kelvin
kHz	Kilo Hertz
kWh	Kilo Watt hora
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
lm	Lúmen
lx	Lux
MHz	Mega Hertz
n	Vida útil
p	Potência
PIB	Produto Interno Bruto
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
PRI	Período de Recuperação do Investimento
Q_{out}	Consumo energético de outros equipamentos
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
R_{Lj}	Receita líquida do ano j

RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
<i>SCE</i>	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
t	Período de Tempo
tep	Toneladas equivalentes de petróleo
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Actividade
UE	União Europeia
URE	Utilização Racional de Energia
V	Volt
VAL	Valor Actual Líquido
V_R	Valor Residual
w	Watt

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Tendo em conta o contexto português, no que se refere à eficiência energética de edifícios, nomeadamente a eficiência dos sistemas de iluminação, torna-se necessário adoptar medidas urgentes que contribuam para a redução de consumos de electricidade em sistemas de iluminação.

1.1. Consumo de Energia a nível mundial em Portugal

A sociedade moderna enfrenta problemas quer a nível energético, com o aumento da escassez dos combustíveis fósseis, quer a nível ambiental, com a degradação do ambiente. A evolução a nível tecnológico, social e económico, protagonizada pelo homem está directamente relacionada com a utilização destes combustíveis, levando a que a sua utilização degrade cada vez mais o ambiente. Esta questão tem uma natureza complexa, porque se por um lado é essencial reduzir o consumo de combustíveis fósseis, por outro o ser humano é cada vez mais dependente da energia para efectuar as suas actividades diárias. Portugal, para além dos problemas referidos anteriormente, possui poucos recursos energéticos próprios, especialmente nos que asseguram a maioria das necessidades energéticas dos países mais desenvolvidos tais como o carvão, petróleo e o gás natural. Esta situação de falta de recursos próprios faz com que haja uma grande dependência da energia de outros países (82,9% em 2007) [1], designadamente fontes primárias de origem fóssil. Com esta dependência Portugal coloca-se numa situação frágil, já que de ano para ano aumenta o preço da factura energética, com custos para a sociedade portuguesa.

A nível mundial tem havido uma maior consciencialização para os problemas relacionados com a degradação ambiental e com o fim dos combustíveis fósseis. Os factores que nos ajudam nesta batalha contra o consumo excessivo são a eficiência energética e a Utilização Racional de Energia (URE). No campo da eficiência energética existe uma aposta cada vez maior nos equipamentos com menos consumo, no caso da iluminação, factor de análise nesta dissertação, há uma aposta nas lâmpadas mais eficientes e com menos poluição. A URE reduz substancialmente os consumos pois pode evitar gastos energéticos desnecessários, como desligar a iluminação nos períodos de paragem.

O consumo em energia para iluminação pode representar entre 20 a 25 % [1] do total da facturação em energia eléctrica num serviço ou indústria. Assim sendo, surge a necessidade de adoptar sistemas de iluminação energeticamente eficientes, ou seja, transformar a menor quantidade de energia eléctrica possível, para gerar a máxima iluminância [1].

A utilização eficiente de energia e a consequente poupança nos custos são, nos dias de hoje, uma preocupação constante não só dos governos e das entidades oficiais como também da população em geral. Esta preocupação aumenta quando se toma consciência que não é apenas uma mera questão

de poupar ou de não gastar, mas também de se preservar o meio que nos rodeia. Assim, as preocupações ambientais, como por exemplo as emissões de CO₂ para a atmosfera e o consequente aumento da temperatura (efeito de estufa) do planeta e aumento do “buraco de ozono”, tomam uma importância primordial nas nossas preocupações diárias [1].

Na UE a 27, o consumo de energia eléctrica em iluminação no sector residencial representa mais de 12% do consumo total deste sector. Cerca de 20% da factura de electricidade de uma habitação é devida à iluminação e no sector dos serviços, essa percentagem, pode chegar até 60% [2].

No nosso país, a situação é análoga. No sector doméstico a iluminação representa em termos médios cerca de 12% do consumo de energia eléctrica e no sector dos serviços sobe para 20%, existindo em ambos os sectores um elevado potencial de economia de energia que devemos explorar [1].

A nível internacional, ao abrigo do Protocolo de Quioto e do compromisso comunitário de partilha de responsabilidades, Portugal assumiu o compromisso de limitar o aumento das suas emissões de gases de efeito de estufa (GEE) em 27% no período de 2008-2012 relativamente aos valores de 1990 [3].

A Directiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios, estabelece que os Estados membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, exigindo também que o sistema de certificação abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público [1].

Neste âmbito foram criados no nosso país, novos regulamentos para os sistemas energéticos e de climatização nos edifícios (RSECE), e para as características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE), bem como a criação do sistema de certificação energética e qualidade do ar interior dos edifícios (SCE).

Estes, vieram posteriormente a ser complementados com a publicação do Decreto-Lei nº 108/2007 e das Portarias nº 54/2008 e nº 63/2008 que estabelecem e regulamentam a aplicação de uma taxa nas lâmpadas de baixa eficiência energética. A eficiência energética da iluminação, devendo incluir-se na eficiência energética global do edifício, levou a Comissão da UE a solicitar ao Comité Europeu de Normalização (CEN) o desenvolvimento de uma metodologia de eficiência energética para a iluminação [3].

Por outro lado não se poderá falar em eficiência energética e em sistemas de iluminação energeticamente eficientes se não forem normalizados os níveis mínimos de iluminação para as mais diversas tarefas. Assim sendo, foi publicada a norma EN 12464-1 sobre a iluminação interior na qual são estabelecidos os níveis de iluminação recomendáveis nos locais de trabalho. A norma, não é de seguimento obrigatório pelos Estados membros, contudo, estes são obrigados a ter normas nacionais

que obriguem a eficiência energética da iluminação a ser incluída nos parâmetros de avaliação da eficiência energética global dos edifícios [4].

Torna-se, portanto, necessário apostar em tecnologias mais eficientes para melhorar a eficiência dos sistemas de iluminação.

1.2. Motivações e objectivos

No caso de edifícios já existentes, o procedimento a seguir passa pela análise da eficiência do sistema de iluminação e, no caso de ser economicamente viável, pela substituição de equipamentos menos eficientes e possivelmente aquisição e instalação de equipamentos para controlo do sistema.

Neste contexto, o objectivo principal desta dissertação consiste no desenvolvimento de uma metodologia que estabelece os critérios necessários à substituição de antigos sistemas de iluminação por sistemas mais eficientes e, consequentemente, mais “amigos do ambiente”. Para tal foi efectuado uma sistematização dos principais novos sistemas/tecnologias de iluminação disponíveis no mercado ou em fase de I&D e a avaliação do seu potencial.

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em diversos capítulos além deste introdutório, divididos consoante o tema a tratar.

No capítulo 2 é feita uma introdução que inclui o enquadramento da dissertação no panorama nacional e europeu.

No capítulo 3 aborda-se a relação do supermercado com a iluminação. Analisa a percepção do consumidor e suas respostas aos estímulos luminosos. Também é efectuado um estudo sobre os sistemas de iluminação, sendo referido os principais componentes de um projecto de um sistema de iluminação eficiente. Neste capítulo é abordada de igual modo a importância do contributo da iluminação natural assim como sistemas de controlo que visem a eficiência energética do sistema de iluminação.

No capítulo 4 analisa a avaliação da eficiência energética de sistemas de iluminação e a metodologia desenvolvida nesta dissertação.

No capítulo 5, é feita uma análise de gestão de energia no edifício Pingo Doce de Famões e propostas que contribuem para a melhoria da eficiência energética deste sistema de iluminação.

Finalmente, no capítulo 6 apresentam-se as principais conclusões e perspectivas e desenvolvimentos futuros.

CAPÍTULO 2 – POLÍTICAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Neste capítulo, analisar-se-á a eficiência energética no mundo e em Portugal. Inserido neste capítulo da eficiência energética, está a eficiência nos sistemas de iluminação, que é o ponto de interesse para a elaboração deste caso de estudo.

2.1. Eficiência energética

O ser energeticamente eficiente significa obter um determinado bem ou serviço consumindo a menor quantidade de energia possível e, consequentemente, reduzindo ao máximo os custos energéticos, quer em termos económicos quer ambientais.

Qualquer equipamento que utilizemos no nosso dia-a-dia converte a energia que recebe noutras formas de energia - uma lâmpada, por exemplo, converte energia eléctrica em energia luminosa e em energia calorífica. Porém, nem toda a energia que lhe é transferida é utilizada na realização da tarefa para a qual foi concebido – no caso da lâmpada, iluminar. A fracção que é utilizada para a realização da tarefa é designada de energia útil sendo o remanescente energia de perdas. A eficiência energética de um equipamento está relacionada com a capacidade que ele tem de converter a energia que lhe é transferida em energia útil [5].

O Programa de Governo do XVIII Governo Constitucional traçou novos objectivos para a política energética e estabeleceu a prioridade que deve ser dada à eficiência energética, designadamente através da aplicação de programas de redução do consumo de energia nos edifícios públicos e da promoção de comportamentos e escolhas com menor consumo energético [6].

Em termos de metas nacionais de eficiência energética, o Decreto -Lei n.º 319/2009, de 3 de Novembro, que transpõe a Directiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, estabelece que Portugal deve procurar atingir um objectivo global nacional indicativo de economias de energia de 9 % [6] para 2016, a alcançar através de serviços energéticos e de outras medidas de melhoria da eficiência energética.

De uma forma mais ambiciosa, o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) — Portugal Eficiência 2015, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio, prevê uma melhoria da eficiência energética equivalente a 10 % [6] do consumo final de energia até 2015. O PNAEE é um plano de acção agregador de um conjunto de programas e medidas de eficiência energética, num horizonte temporal que se estende até ao ano de 2015 [7].

Além disso, Portugal compromete -se, ainda, no contexto das políticas europeias de combate às alterações climáticas (Pacote Energia - Clima 2020), entre outras medidas, a reduzir em 20 % [6] o seu consumo de energia final até 2020.

O PNAEE abrange quatro áreas específicas, objecto de orientações de cariz predominantemente tecnológico, sendo estas, os Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e por fim o Estado. Adicionalmente, estabelece três áreas transversais de actuação, que permitem operacionalizar as áreas específicas, tais como Comportamentos, Fiscalidade, Incentivos e Financiamentos sobre as quais incidiram análises e orientações complementares.

Cada uma das áreas relatadas agrupa um conjunto de programas, que integram de uma forma coerente um vasto leque de medidas de eficiência energética (figura 2.1), dirigidas para a procura energética [7].

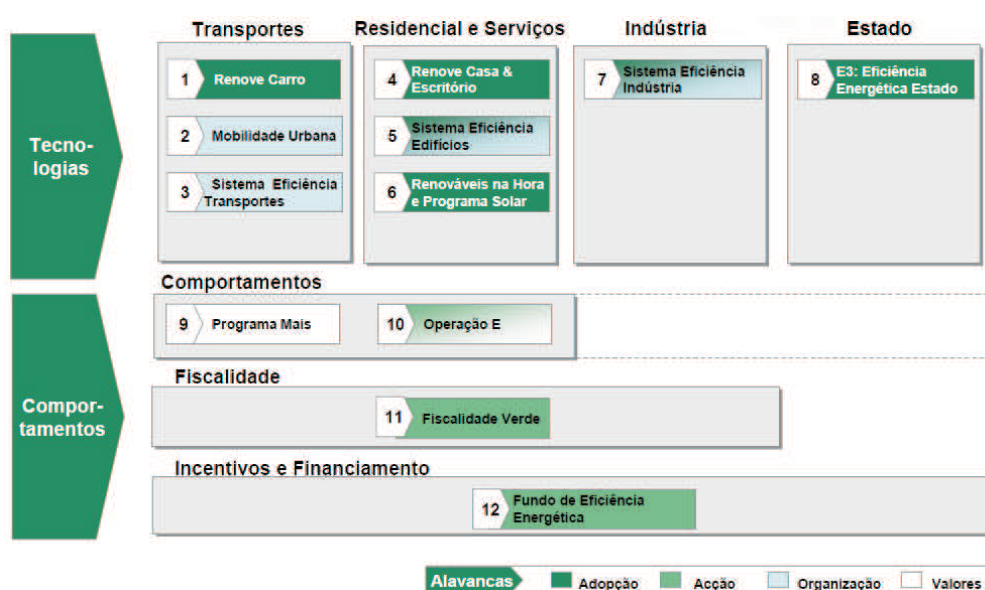


Figura 2.1 – Os 12 grandes Programas do Portugal Eficiência 2015 [8].

A Directiva n.º 2006/32/CE estabelece como objectivo obter uma economia anual de energia de 1 % [7] até ao ano de 2016, tomando como base a média de consumos de energia final, registados no quinquénio 2001-2005 (aproximadamente 18.347 tep).

A implementação do plano permite uma economia energética de cerca 1792 milhares de toneladas equivalentes de petróleo (tep) no ano de 2015 (figura 2.2), o que corresponde a uma economia de 9,8 % [7] face ao período de referência da Directiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril de 2006.

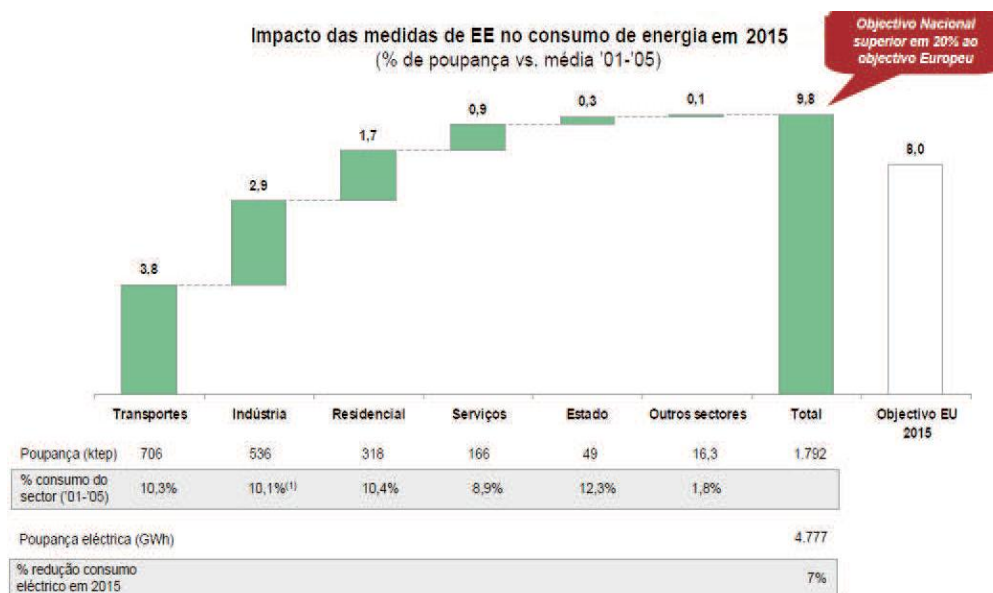


Figura 2.2 – Meta de 10% de poupança até 2015 [8].

A poupança induzida permite ultrapassar a meta definida pela União Europeia em aproximadamente 20 % [7], com contributos de eficiência distribuídos pelos vários sectores de actividade e com o Estado a liderar em termos de eficiência, com uma economia induzida de cerca de 12 % [7].

De forma agregada, as medidas aplicadas a todos estes sectores induzirão uma poupança específica eléctrica em 2015 de 4.777 GWh, equivalente a uma redução de 7 % [7] do consumo eléctrico nacional.

2.2. Intensidade energética

A intensidade energética é um indicador de eficiência energética que traduz a incidência do consumo de energia final sobre o PIB (Produto Interno Bruto). Quanto menor for a intensidade energética, maior é a eficiência energética de uma economia/produto [2].

A intensidade energética por permitir colocar no mesmo plano o desenvolvimento económico e os consumos energéticos que lhe dão suporte, permite verificar algumas melhorias de desempenho nos últimos anos, que importa consolidar e acelerar.

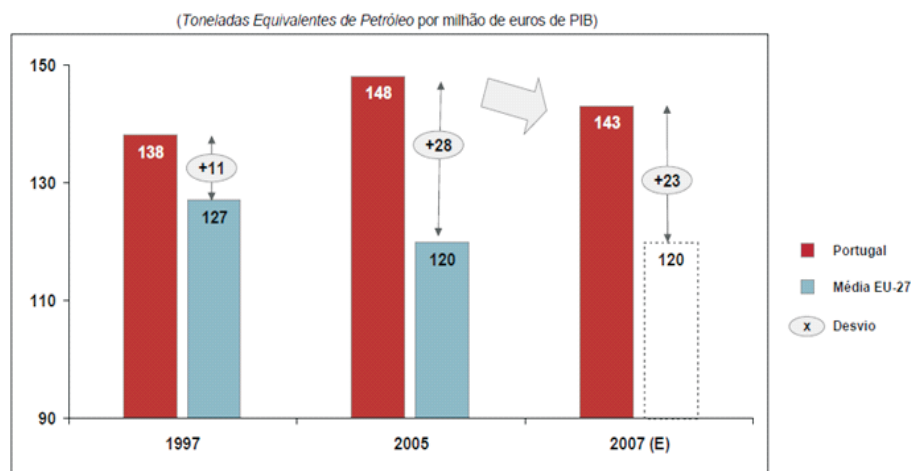


Figura 2.3 – Intensidade Energética de Portugal e Média Europeia (Energia final /PIB) [8].

A intensidade energética em Portugal era, em 1997, de 138 tep por milhão de euros de PIB [7], isto significa que, para produzir um milhão de euros de PIB era necessário de incorporar mais 11 toneladas de equivalente de petróleo [7] do que a média dos nossos parceiros europeus, como mostra a figura 2.3.

A intensidade energética cresceu até 2005 para as 148 unidades [7], enquanto na Europa este indicador melhorou substancialmente durante o mesmo período, passando de uns já otimizados 127 para os 120 tep/milhão PIB [7], aumentando, desta forma, o desvio existente para mais do dobro.

Os anos de 2006-07 permitiram registar as primeiras reduções deste indicador em muitos anos, permitindo uma aparente convergência europeia, que certamente se tem de consolidar e acelerar nos próximos anos, para reduzir e anular este diferencial, que, no limite, se traduz numa menor produtividade e competitividade económica.

Na avaliação do impacto das medidas constantes no PNAEE assume-se como taxas de crescimento do PIB, os valores de 4,27% [7] no cenário alto e de 2,90% [7] no cenário baixo, tendo sido adoptado, para efeitos de cálculo, o valor intermédio de 3,60% [7], equivalente à média aritmética dos dois cenários.

2.3. Eficiência energética em Sistemas de Iluminação

O aparecimento de novos regulamentos, tais como o RCCTE e o RSECE veio impor novas regras e medidas de eficiência energética no projecto de execução de novos edifícios.

Nos grandes edifícios de serviços, estas medidas têm que ser tomadas visando a utilização de tecnologias de baixo consumo, para pertencer a uma classe eficiente energética alta [3].

Existem hoje em dia, na área da iluminação e para o mesmo tipo de utilização, alternativas no mercado com diferentes níveis de eficiência energética. A aplicação de uma taxa sobre das lâmpadas

de baixa eficiência, é uma medida que promove a utilização mais racional da energia e visa motivar o cidadão para uma opção mais eficiente e globalmente mais económica e, ainda, compensar os custos decorrentes do consumo ineficiente de energia que essas lâmpadas impõem ao ambiente. Este foi o objectivo da publicação do Decreto-Lei Nº 108/2007, de 12 de Abril [1].

O conceito de eficiência energética em iluminação torna-se secundário se o sistema de iluminação não fornecer as condições de conforto e satisfação dos utilizadores, logo tem de existir um equilíbrio entre a eficiência energética e a qualidade de iluminação.

Na sua forma mais simples, um sistema de iluminação energeticamente eficiente pode ser obtido através da minimização de duas variáveis, o tempo de utilização e a potência instalada. A minimização da potência instalada é obtida através da utilização de componentes do sistema de iluminação artificial energeticamente eficientes como lâmpadas com alta eficiência luminosa, luminárias reflexivas, balastros e sistemas de distribuição e controlo. O aproveitamento da iluminação natural através da utilização de sistemas de controlo da iluminação artificial pode minimizar o tempo de utilização do sistema de iluminação artificial. O mesmo se verifica com o uso de sensores de presença e temporizadores para áreas com ocupação intermitente [9].

Para sistemas existentes a substituição de equipamentos ineficientes e a instalação de sistemas de iluminação artificial através do uso de iluminação natural ou sensores de presença são alternativas eficientes a serem consideradas, isto porque diferentes ambientes com distintas actividades visuais necessitam de iluminâncias diferentes. Deve-se atender, ao facto de que alguns ambientes deverão ser iluminados durante todo o tempo de utilização, enquanto outros necessitam de iluminação apenas em certos períodos do dia.

CAPÍTULO 3 - SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

De acordo com as exigências dos novos Regulamentos em vigor, o RSECE e o SCE, surge a necessidade de criar uma metodologia que permita aos projectistas dimensionar sistemas de iluminação energeticamente eficientes que satisfaçam as restrições impostas pelos novos regulamentos e mantenham os padrões de qualidade recomendados.

Antes de iniciar um projecto luminotécnico energeticamente eficiente é necessário recolher previamente uma série de dados específicos, que poderão interferir directamente na iluminação.

A selecção do método de iluminação é classificada de acordo com a forma que as luminárias são distribuídas pelo espaço e pela função a ser exercida no local.

3.1. Características dos Supermercados

Um supermercado pode ser chamado retalho de auto-serviço, isto é, as pessoas fazem as suas compras e normalmente não necessitam do auxílio de um vendedor, tendo contacto com este somente no momento de pagar as compras. Porém, no atendimento nas áreas perecíveis, talho e padaria, é necessário um funcionário qualificado.

O intervalo para ser considerado um supermercado vai de 200 m² até 5000000 m². Referencialmente, o supermercado está dividido em sectores denominados: atendimento e área de venda (local de exposição de mercadorias e caixas registadoras), área de preparo (local onde os produtos são preparados, limpos, fatiados, cortados, pesados, embalados e produzidos como é o caso da padaria), depósito (armazenamento de mercadorias) e área de carga e descarga (local para recepção de mercadorias dos fornecedores e separação das mesmas para controlo de *stock*).

O ambiente de uma loja deve estar em sintonia com os consumidores, conhecendo seu público-alvo e respeitando as condições do produto oferecido, é possível criar um ambiente convidativo e cómodo, com produtos e serviços que atendam as necessidades dos consumidores e tornar a compra uma experiência favorável.

3.2. Iluminação nos Supermercados

A luz é um elemento importante para a criação de um cenário de um supermercado, pois ela é um dos meios mais eficientes para exibir e valorizar a mercadoria aos olhos dos consumidores e assim criar um ambiente agradável, sedutor, envolvente e propício à aquisição dos produtos.

Iluminação inadequada é um inimigo invisível, que muitos retalhistas ignoram ou subestimam e que pode comprometer as vendas do supermercado.

Para o adequado uso da luz é importante observar o espaço do supermercado, o tipo de produto que se deseja iluminar e a imagem estética que se pretende transmitir ao cliente. A luz traz dramaticidade ao cenário, exalta e particulariza o ambiente, traz a cor, dá movimento e forma, criam-se climas, desenvolvem-se atmosferas e com todos esses factores, podemos alterar o humor e estimular desejos nos clientes e assim criar condições mais gratificantes e favoráveis para o relacionamento entre os consumidores e a empresa.

Quando se fala de luz tem se de ter em conta que esta provêm, de iluminação natural ou artificial, no entanto tendo em conta o objectivo do caso de estudo, interessa apenas analisar a iluminação artificial porque é este o tipo que existe no supermercado.

Os componentes simbólicos, sensoriais e psicológicos da luz são elementos subjectivos para o projecto de iluminação, pois determinam a atmosfera do ambiente. A luz imprime de maneira diferenciada e duradoura a nossa percepção do espaço ou a imagem de um local, gerando impressões psicológicas. A simples escolha de lâmpadas com uma determinada temperatura de cor e tonalidade pode facilmente gerar associação às noções de frio e de calor pela maioria das pessoas.

Segundo a Norma Europeia EN 12464-1 (Anexo I), um supermercado deve atender aos seguintes níveis médios de iluminância recomendados na tabela 3.1:

Tabela 3.1 – Níveis médios de iluminância recomendados para supermercados [10].

Tipo de Interior, Tarefa e Actividade	E_m (lux)
Estabelecimento de venda a retalho	
Área de exposição e compra de produtos	300
Área das caixas registadoras e empacotamento de mercadorias	500

3.3. Iluminação de Zonas

Cada zona de um supermercado possui suas particularidades, particularidades que ao mesmo tempo devendo ser estudadas separadamente, devem interagir, formando um espaço único. Cada zona deve ter uma iluminação específica, pois elas funcionam de maneiras independentes.

Zona de Frutas e Legumes – As lâmpadas escolhidas devem reproduzir fielmente as cores e texturas de frutas, legumes e verduras (figura 3.1). As lâmpadas devem transmitir uma temperatura de cor neutra e possuir um Índice de Reprodução de Cor (IRC) elevado.



Figura 3.1 – Zona de Frutas e Legumes.

Zona de Talho e Charcutaria – As lâmpadas escolhidas devem valorizar a cor da carne, sem deixá-la vermelha demais, logo devem ter uma temperatura de cor quente, ou seja, avermelhada (figura 3.2).



Figura 3.2 – Zona de Talho e Charcutaria.

Zona de Peixaria – O produto deve parecer fresco e brilhante, para este resultado utilizam-se lâmpadas de fontes pontuais e com um bom índice de reprodução de cor. As lâmpadas devem ser de temperatura de cor fria associada a tonalidades azuis do ambiente produzindo uma sensação de frio (figura 3.3).



Figura 3.3 – Zona de Peixaria.

Zonas de Café&Bolos – As lâmpadas devem transmitir uma temperatura de cor neutra e possuir um bom IRC de modo a destacar os produtos (figura 3.4).



Figura 3.4 – Zona de Café&Bolos.

Zonas de Vendas e Caixas – Estas áreas devem ser bem iluminadas. Além do consumidor poder avaliar os produtos que está a comprar, a iluminação deve propiciar uma boa legibilidade para a execução das tarefas necessárias (figura 3.5).



Figura 3.5 – Zona de Vendas e Caixas.

Um sistema de iluminação eficiente fornece as condições desejadas ao desenvolvimento das actividades. Deve satisfazer a maior parte possível das necessidades visuais dos utilizadores. As pessoas devem sentir os efeitos da iluminação, porém de uma maneira adequada e que não haja ofuscamento ou desconforto.

3.4. Características das fontes

3.4.1. Fluxo luminoso

O fluxo luminoso (ϕ) pode definir-se pela quantidade total de luz radiada ou emitida por uma fonte em cada segundo, medida em lúmens (lm) na tensão nominal de funcionamento [11]. Esta grandeza influencia a eficiência do equipamento, mas não é uma medida da eficiência energética, porque existe lâmpadas com a mesma potência irradiando fluxos luminosos diferentes. Daí quando propomos uma melhoria temos de ter em conta que a proposta tem de ter um fluxo luminoso equivalente à lâmpada existente.

3.4.2. Iluminância

A Iluminância (E), Iluminamento ou Nível de Iluminação é expressa em lux (lm/m^2) e pode ser medida com o auxílio de um luxímetro. Esta grandeza indica o fluxo luminoso (lúmen) de uma fonte de luz que incide sobre uma superfície situada a uma certa distância dessa fonte (m^2).

Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Considera-se, por isso, a iluminância média (E_m). Existem normas especificando o valor mínimo de E_m , para ambientes diferenciados pela actividade exercida,

relacionados ao conforto visual. Neste âmbito, o Parlamento Europeu, legislou em Setembro de 2002, a Norma EN 12464-1, relativa a “Iluminação nos postos de trabalho” [11].

Este factor não é uma medida da eficiência energética, mas possui uma relevância na substituição por lâmpadas eficientes, porque os níveis médios de iluminância depende dos locais de acordo com a tarefa a executar.

3.4.3. Índice de reprodução de cor

O índice de reprodução de cor (IRC ou Ra) de uma fonte luminosa artificial é um parâmetro que quantifica a fidelidade com que as cores são reproduzidas sob uma determinada fonte de luz (varia de 0 a 100%). Assim, para locais em que função a executar necessite de uma boa fidelidade de reprodução de cor devem ser seleccionadas lâmpadas com IRC perto de 100%. Neste tipo de ambientes não se pode apenas considera a eficiência energética dos sistemas de iluminação sem ter em conta o IRC necessária à função a exercer no local. Por exemplo, numa fábrica de tintas, não se deve usar uma lâmpada de vapor de sódio, que apesar de ser energeticamente eficiente, possui um baixo IRC.

Este índice é a medida da cor real de uma superfície e sua aparência a ser iluminada pela fonte artificial. Porém cada tipo de ambiente pode empregar fontes com índices diferentes de acordo com a sua finalidade. A capacidade da lâmpada reproduzir bem as cores (IRC) é independente da sua temperatura de cor [12].

A figura 3.6 ilustra, o facto de lâmpadas do mesmo nível conterem Índice de Reprodução de Cores diferentes.

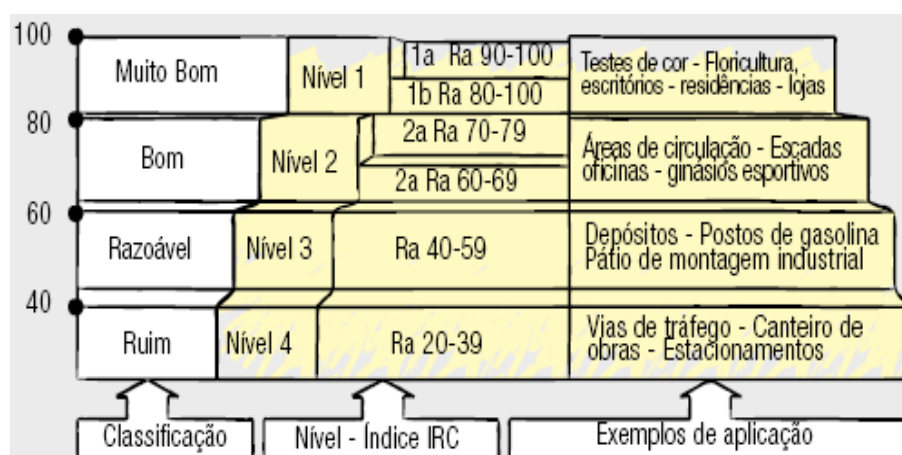


Figura 3.6 – Índice de reprodução de cores e exemplos de aplicação [11].

A escolha do IRC de uma dada fonte luminosa depende da função a exercer ou dos produtos expostos, ou seja, no caso do supermercado a zona do peixe necessita de um IRC perto dos 100%, enquanto na zona de vendas o IRC pode variar de 70 a 80%.

3.4.4. Temperatura de cor

A temperatura de cor indica a aparência de cor da luz emitida pela fonte luminosa, comparada ao fluxo luminoso emitido pelo corpo negro a uma determinada temperatura. A sua unidade de medida é o Kelvin (K).

A aparência de cor pode estabelecer sensações de um ambiente “quente” ou “frio”, isto é, em climas mais quentes geralmente é preferida uma aparência de cor da luz mais fria, enquanto em climas mais frios é preferida uma aparência de cor de luz mais quente [12].

De acordo com a temperatura de cor, as lâmpadas podem ser divididas em três classes como mostra a tabela seguinte:

Tabela 3.2 – Temperatura de cor e respectivas aparências e tonalidades de cor [13].

Temperatura de cor (K)	Aparência de cor	Tonalidade de cor
<3300	Quente	Branca avermelhada
3300-5300	Intermédia	Branca
>5300	Fria	Branca azulada

Para atingir uma iluminação de qualidade a temperatura de cor das lâmpadas a utilizar deve estar relacionada com o nível de iluminância. Quanto maior a iluminância do ambiente, maior deve ser a temperatura da cor e consequentemente mais fria a aparência da cor [13]. Essa relação é evidenciada pelo diagrama de Kruithoff representado na figura seguinte:

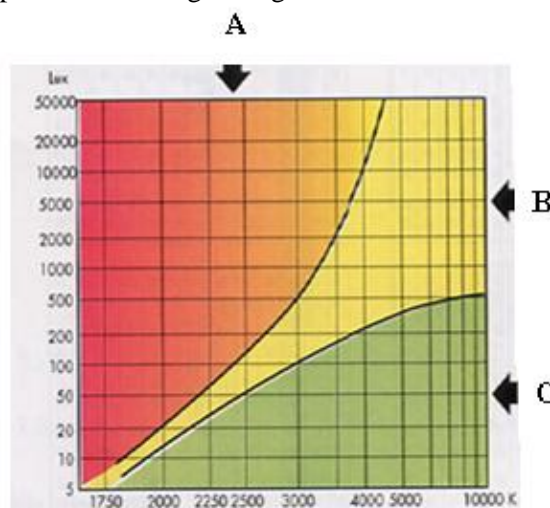


Figura 3.7 – Diagrama de Kruithoff [13].

No diagrama da figura 3.7, a zona B corresponde à zona em que a iluminação provoca uma impressão agradável. Na zona A, a iluminação parece fria e na zona C a impressão de cores não é natural [13].

Um aspecto importante é que a temperatura da cor não pode ser empregada isoladamente e sim em conjunto com o IRC. Quanto maior for a temperatura, maior será a energia produzida, e consequentemente, maior o consumo das lâmpadas. Dentro do mesmo edifício existem sectores que exigem temperaturas de cor distintas. Para o caso de estudo, o talho deve proporcionar uma cor quente para valorizar a carne, enquanto a peixaria deve ter uma cor fria associada a tonalidades azuis do ambiente para produzir uma sensação de frio.

Segundo a Lei de Planck, quando aquecido o corpo negro (radiador integral) emite radiação na forma de um espectro contínuo. No caso de uma lâmpada incandescente, grande parte desta radiação é invisível, seja na forma de ultravioleta, seja na forma de calor (infravermelho), isto é, apenas uma pequena porção está na faixa de radiação invisível, motivo pelo qual o rendimento desta fonte luminosa é tão baixo conforme pode ser visto na figura seguinte [14].

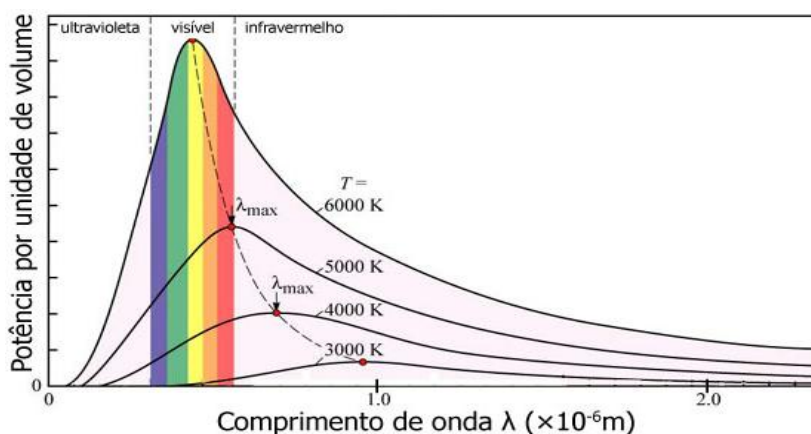


Figura 3.8 – Energia espectral dos radiadores integrais das lâmpadas incandescentes segundo a Lei de Planck [14].

Contudo, quando há um aumento da temperatura do corpo a quantidade total de energia emitida também aumenta, aumentando a eficiência energética.

3.4.5. Eficiência Luminosa

Considera-se a eficiência luminosa de uma fonte luminosa o quociente entre o fluxo luminoso emitido em lúmen (lm), pela potência consumida em watt (W).

Assim a eficiência luminosa é dada por:

$$\eta \left(\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right) = \frac{\text{Fluxo Luminoso Emitido (lm)}}{\text{Potência Absorvida pela Fonte (W)}} \quad (3.1)$$

Os diversos tipos de lâmpadas apresentam capacidades diferentes na conversão da energia eléctrica em energia luminosa, logo a eficiência luminosa é um parâmetro relevante no ponto de vista económico, pois está relacionada directamente ao custo operacional de uma instalação [12].

As lâmpadas diferenciam-se entre si não só pelos diferentes fluxos luminosos que irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. A figura 3.9 exemplifica as eficiências luminosas de alguns tipos de lâmpadas.

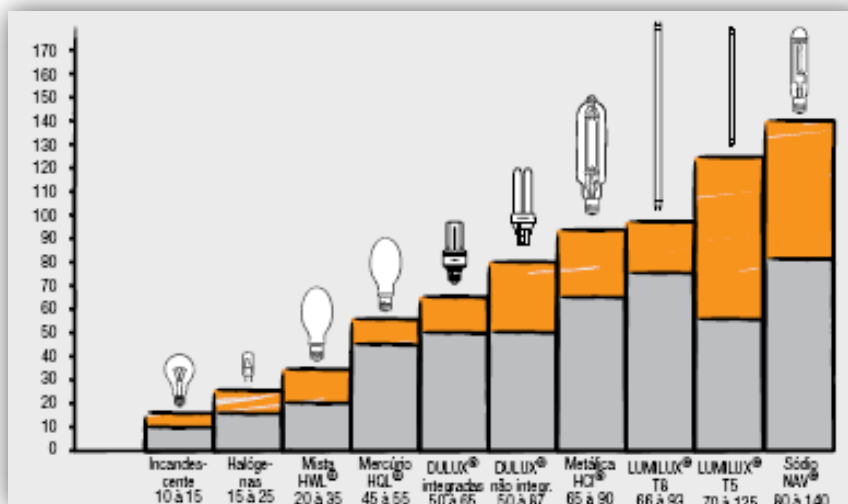


Figura 3.9 – Evolução da eficiência luminosa das fontes de luz [15].

Quanto maior o valor da eficiência luminosa de uma determinada lâmpada, maior será a iluminância produzida com o mesmo consumo.

Quando há dúvidas entre fontes de luz, que permitam obter uma iluminação de qualidade idêntica e apresentem valores de rendimento luminosos diferentes deve-se optar sempre pelo mais eficiente.

3.4.6. Vida útil

A vida útil da lâmpada corresponde à durabilidade em horas das lâmpadas e balastros. Corresponde ao número de horas decorrido quando se atinge 50% da quantidade de luz inicial, isto é, quando é constatada a depreciação do fluxo luminoso da lâmpada. É um parâmetro que deve ser levado em consideração do ponto de vista económico. Quanto maior a vida útil de uma lâmpada, maior a economia, pois o custo de manutenção com as trocas destas lâmpadas será menor [16].

Embora ao longo da vida útil da lâmpada ocorrer uma diminuição do fluxo luminoso emitido, este factor não é um padrão da eficiência energética apesar de ser relevante no ponto de vista económico.

De modo a explicar a importância das características das fontes luminosas, referidas anteriormente, a tabela 3.2 sintetiza alguns critérios fundamentais para a avaliação das diferentes tecnologias de iluminação.

Tabela 3.3 – Principais características das fontes para diversas lâmpadas [12].

Lâmpadas	IRC (%)	Eficiência (lm/W)	Vida útil (h)	Temperatura de cor (K)
Incandescentes	100	10-20	1000	2400-3100
Halogéneas	100	15-22	2000	3000
Vapor de mercúrio de baixa pressão	80-85	45-75	9000-28000	3000-4000
Mista	55-60	20-35	6000	3000-4100
Multivapores metálicos	80-85	65-90	8000	3000-4200
Fluorescentes				
Comum	70-85	60-82	7500	4000-6100
Indução magnética	80-89	80-110	60000	4000
Compactas	82-85	59-68	8000	2700
Sódio em alta pressão	20-39	70-130	24000	2000

Através da análise da tabela, no âmbito de eficiência energética, verificamos que as lâmpadas fluorescentes de sódio em alta pressão apresentam uma elevada eficiência. Contudo, ao relacionar com as outras características esta não será a melhor selecção em termos de conjunto, visto que a escolha depende também da sua finalidade.

3.5. Características das luminárias

3.5.1. Intensidade luminosa

A intensidade luminosa (I) é o fluxo luminoso emitido por uma fonte luminosa numa determinada direcção e a unidade é a candela (cd). Existe uma correlação directa entre este factor e a eficiência energética, ou seja, quanto maior for a intensidade luminosa mais alta será a eficiência.

Para melhor se entender esta grandeza, é importante o conceito da curva de distribuição luminosa [11].

3.5.2. Curva de distribuição luminosa

Trata-se de um diagrama polar no qual é indicada a representação da intensidade luminosa proveniente de uma luminária, em todos os ângulos em que ela é direccionada, num plano. A curva obtida é a chamada Curva de Distribuição Luminosa (CDL). Esta curva indica se a lâmpada ou luminária têm uma distribuição de luz concentrada, difusa, simétrica, assimétrica, entre outros. Deverá ser apresentada, no mínimo, nos planos, longitudinal e transversal. É muito importante que observemos o conjunto rendimento vs distribuição. Podemos ter uma luminária com elevado rendimento, mas parte da distribuição luminosa estar numa área que não interessa [17].

A figura 3.10 representa a CDL no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um reflector (B) [11].

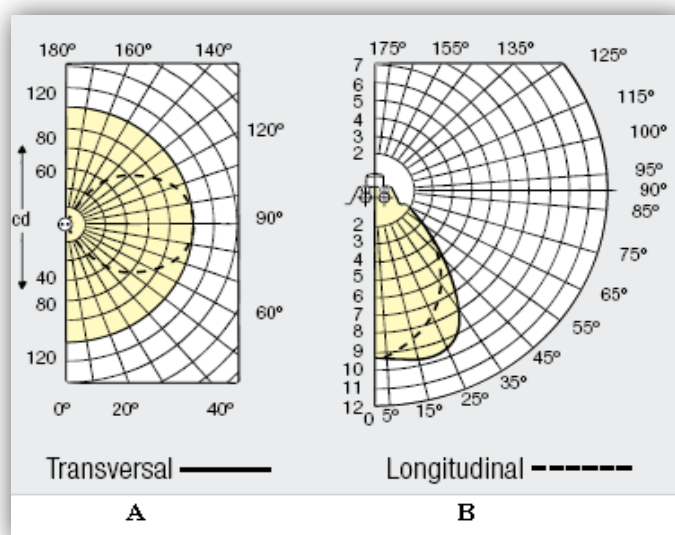


Figura 3.10 – Curvas de distribuição luminosa [11].

A simples adição de um reflector, já atenua bastante a característica exibida pela lâmpada isolada devido a este elemento aproveitar melhor a luz emitida pela lâmpada.

A substituição de luminárias é um processo mais complexo do que apenas substituir lâmpadas. Ao proceder à substituição de uma luminária é necessário trocá-la por luminárias com intensidades luminosas semelhantes às existentes, e consequentemente, CDL. Os diagramas polares não afectam na eficiência, apenas no âmbito da redução dos custos energéticos.

3.6. Principais componentes de iluminação

3.6.1. Tipos de lâmpadas

3.6.1.1. Lâmpadas Incandescentes

A lâmpada incandescente é a tecnologia mais antiga da iluminação eléctrica [18]. A produção da luz ocorre pelo aquecimento de um filamento por corrente eléctrica que é levado à incandescência produzindo luz e calor [12,16]. O filamento está contido numa ampola de vidro que é preenchida com um gás inerte ou em vácuo [19,20].

Este tipo de lâmpada encontra-se ilustrado na figura seguinte.

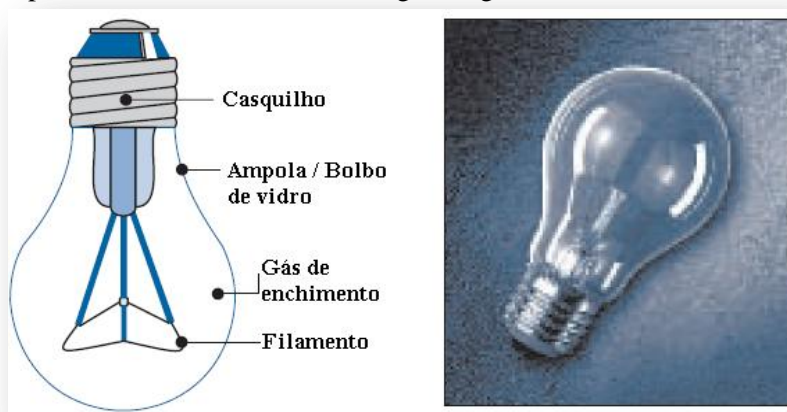


Figura 3.11 – Constituição de uma lâmpada incandescente [16].

Os filamentos são feitos de tungsténio e enrolados em dupla ou tripla helicóide para aumentar a eficiência luminosa. Na verdade, estas lâmpadas são pouco eficientes porque, apenas cerca de 10% da energia que utilizam sai como luz visível, enquanto a grande parte da energia consumida é dissipada sob a forma de calor ou em radiações não visíveis pelo olho humano, como se pode observar na figura 3.12 [16,21].

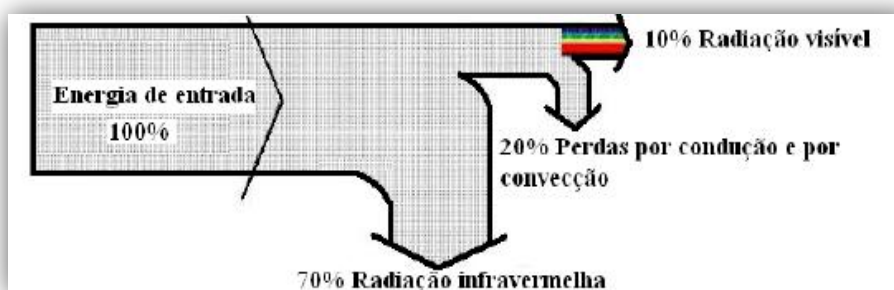


Figura 3.12 – Decomposição da energia consumida por uma lâmpada incandescente [22].

Este tipo de lâmpadas produz uma luz suave e confortável, e são de baixos custos iniciais e de reposição. Mas, como desvantagem possui uma vida relativamente curta, são menos eficientes e são caras de explorar [18,23].

Assim, as principais características deste tipo de lâmpadas são [12,18,21]:

- Potência: 15-1000W;
- Eficiência Luminosa: 9 a 25 lm/W;
- IRC: 100%;

- Temperatura de cor: 2700K;
- Tempo de vida útil: 1000 horas.

Algumas destas lâmpadas possuem um espelho na parte interior da ampola, denominadas lâmpadas incandescentes reflectoras. Normalmente têm períodos de vida curtos e eficiência reduzida, tais como, as lâmpadas incandescentes, pelo que a sua utilização também não é recomendada [21].

As lâmpadas incandescentes são as de menor eficiência energética, porque a capacidade que a lâmpada tem de converter a energia que lhe é transferida em energia útil é muito baixa, assim substituí-las, por exemplo, pela fluorescente torna-se numa boa alternativa. Porém, as halogéneas oferecem uma boa alternativa pois são um tipo de lâmpadas incandescentes com maior eficiência luminosa.

- Lâmpadas halogéneas

Como as lâmpadas de incandescência, as lâmpadas halogéneas possuem um filamento de tungsténio que emite luz com a passagem da corrente eléctrica. As lâmpadas de halogéneo, são preenchidas com gases inertes (iodo, cloro, bromo) e halogéneo que capturam os átomos de tungsténio e os transportam de volta para o filamento. Assim, o composto formado no interior do bolbo, aproximando-se do filamento por convecção, decompõe-se, depositando o tungsténio novamente no filamento e libertando o halogéneo para um novo ciclo, designado ciclo de halogéneo ou ciclo regenerativo. Ciclo, esse que está apresentado na figura 3.13.

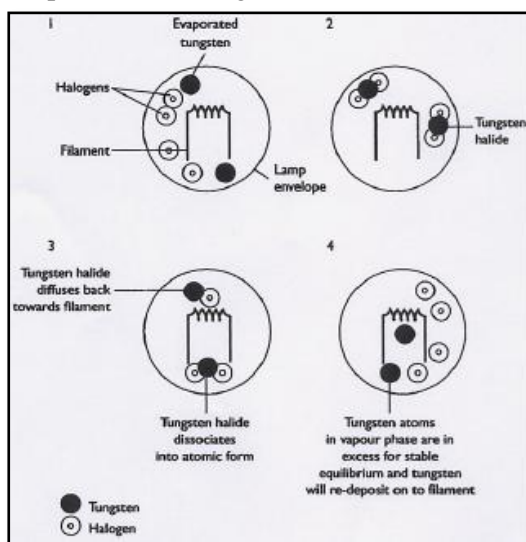


Figura 3.13 – Ciclo de Halogéneo [22].

A altas temperaturas as moléculas de tungsténio evaporam do filamento e originam uma reacção química com as moléculas de halogéneo, diminuindo, como consequência, a eficiência. Pode evitar-se esse fenómeno aumentando a temperatura de trabalho do próprio bolbo e estabelecendo um ciclo

regenerativo entre o tungsténio evaporado e um elemento halogéneo [12,16,20]. O invólucro da lâmpada é feito de quartzo resistente às altas temperaturas necessárias ao funcionamento do ciclo de halogéneo [22].

O resultado é uma luz mais brilhante e uniforme ao longo de toda a vida, maior eficiência energética, ou seja, mais iluminação com potência menor ou igual. Todavia, o fluxo luminoso mantém-se próximo dos 95% do seu valor inicial até ao final da sua vida útil.

As principais características deste tipo de lâmpadas são [12,16,21]:

- Potência: 5-150W;
- Eficiência Luminosa: 18-33 lm/W;
- IRC: 100%;
- Temperatura de cor: 3000 K;
- Tempo de vida útil: 2000-4000 horas.

Algumas possuem reflectores incorporados, com espelho dicróico que desvia grande parte do calor produzido, até 60%, para trás da lâmpada, sendo estas denominadas de lâmpadas de halogéneo com reflector [12]. Este tipo de lâmpada encontra-se ilustrado na figura 3.14.

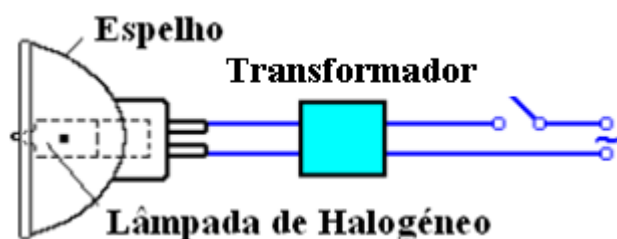


Figura 3.14 – Constituição e operação das lâmpadas de tungsténio com reflector de baixa tensão [22].

3.6.1.2. Lâmpadas de Descarga

Este tipo de lâmpadas é constituído por um tubo de descarga contendo um gás ou vapor metálico e dois eléctrodos colocados nos extremos de um tubo. Quando uma diferença de potencial é aplicada aos eléctrodos dá-se uma descarga eléctrica produzindo excitação dos electrões o que leva à ionização do gás existente que, por sua vez, dá origem à emissão de luz. A primeira descarga eléctrica precisa maior tensão para ionizar pela primeira vez, pelo que estas lâmpadas necessitam de um arrancador que gera uma sobretensão quando se liga a lâmpada [12,19].

As principais características deste tipo de lâmpadas são [12]:

- Eficiência Luminosa: 30-140 lm/W;
- Temperatura de cor: 2000-6000 K;
- Tempo de vida útil: 2000 -12000 horas.

Os tipos mais comuns de lâmpadas de descarga possuem um gás ou vapor metálico de alta pressão ou de baixa pressão.

Das lâmpadas de descarga de alta pressão fazem parte os seguintes tipos:

- Lâmpadas a vapor de mercúrio;
- Lâmpadas de luz mista;
- Lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão;
- Lâmpadas a vapor de mercúrio de iodetos metálicos.

Enquanto, nas lâmpadas de descarga de baixa pressão incluem-se os seguintes tipos:

- Lâmpadas fluorescentes tubulares / Lâmpada a vapor de mercúrio de baixa pressão;
- Lâmpadas fluorescentes compactas;
- Lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão.

Lâmpadas de descarga de Alta Pressão:

- Lâmpadas a vapor de mercúrio

Nas lâmpadas de descarga de alta pressão empregou-se durante muitos anos, como fonte de descarga, o vapor de mercúrio, ao qual se adicionava uma pequena quantidade de gás inerte de fácil vaporização a fim de facilitar o arranque [22].

O tubo de ignição contém, além do mercúrio em estado líquido, um gás inerte, o argon, como ilustra a figura 3.15. Entre o tubo de descarga e o bulbo externo, para facilitar a convecção do calor, existe nitrogénio.

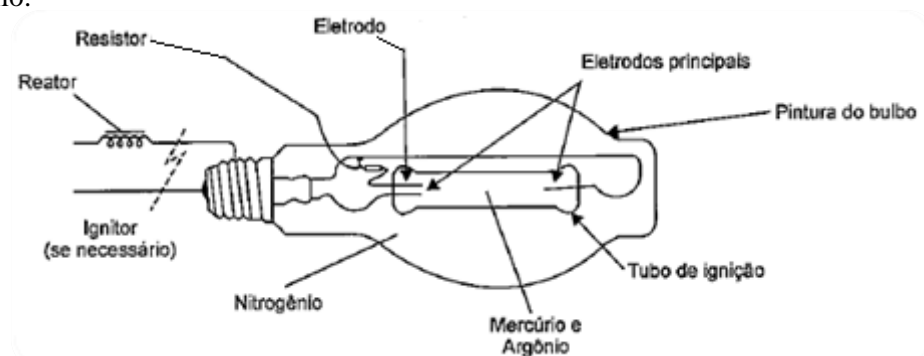


Figura 3.15 – Constituição de uma lâmpada a vapor de mercúrio [12].

Quando a lâmpada é ligada, há uma descarga inicial entre os dois eléctrodos principais e o eléctrodo de arranque, pela ionização do argon, que provoca o aquecimento interno do bulbo e uma migração de electrões, produzindo uma luz amarelada. O aquecimento provocado pela ionização do argon vaporiza o mercúrio, tornando o ambiente do bulbo altamente condutor e ionizável, além de

estabelecer colisões entre os electrões livres e os átomos de mercúrio, emitindo luz de aparência branca-azulada. A radiação ultravioleta é convertida, em parte, em radiações visíveis [12].

Neste tipo de lâmpadas 50% da potência é transformada em radiação, dos quais 15% correspondem a radiação visível, 15% correspondem a radiação infravermelha e 20% a radiação ultravioleta. A outra metade da potência consumida corresponde a perdas como indica a figura 4.21 [22].

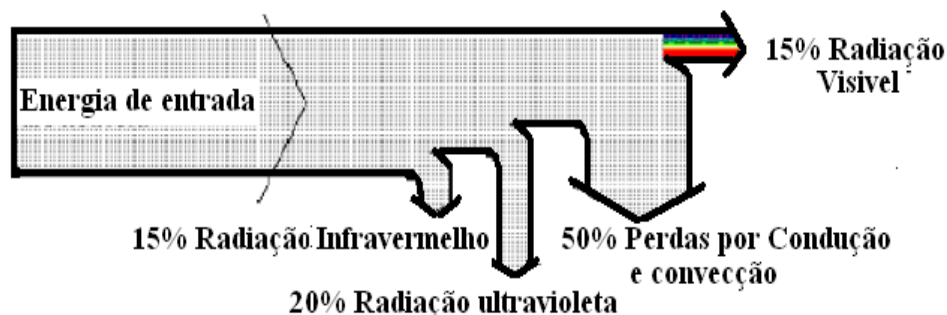


Figura 3.16 – Decomposição da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio [22].

As lâmpadas de vapor de mercúrio são consideradas de baixa eficiência energética, porque apenas 15 % da energia eléctrica consumida é transformada em luz, sendo os restantes 85% transformados em calor e radiação não visível [22].

As principais características deste tipo de lâmpadas são [12,21,22]:

- Potência: 50-1000W;
- Eficiência Luminosa: 40 a 60 lm/W;
- IRC: 40%;
- Temperatura de cor: 3550 a 4100 K;
- Tempo de vida útil: 6000 a 28000 horas.

Este tipo de lâmpada é utilizado para iluminação de ruas, locais públicos e recintos desportivos, devido ao seu baixo IRC.

- Lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão

Estas lâmpadas são semelhantes a lâmpadas de mercúrio de alta pressão com a vantagem de o vapor de sódio possibilitar uma proporção mais elevada de radiação visível. O tubo de descarga neste tipo de lâmpada contém um excesso de sódio, para dar condições de saturação do vapor quando a lâmpada funciona. Também é usado um excesso de mercúrio para proporcionar um gás de protecção e o xénon é incluído sob baixa pressão para facilitar o arranque e limitar a condução do arco de descarga para a parede do tubo. Assim, também nesta lâmpada metade da potência é convertida em radiação,

mas enquanto a energia da radiação visível obtida é de cerca de 15% no caso da descarga de vapor de mercúrio, no caso da de sódio é o dobro, cerca de 30%.

A luz destas lâmpadas apresenta uma cor amarelo-alaranjada devido ao sódio encontrar-se em altas pressões e são usadas em estradas, pontes, viadutos, túneis e aeroportos porque é no amarelo que há maior noção do contraste. Isso melhora a qualidade de iluminação, reduzindo os custos de energia e duplicando a eficácia em comparação com as lâmpadas de mercúrio. Na figura 3.17 está ilustrado este tipo de lâmpadas [12,22].

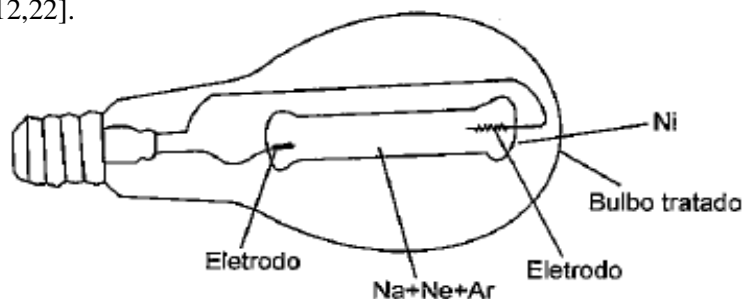


Figura 3.17 – Constituição de uma lâmpada a vapor de sódio de alta pressão [12].

As principais características deste tipo de lâmpadas são [12,21,22]:

- Potência: 50-1000W;
- Eficiência Luminosa: até 130 lm/W;
- IRC: 20 a 39%
- Temperatura de cor: 2000-2500 K;
- Tempo de vida útil: 24000 horas.

As lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão são uma alternativa à lâmpada de vapor de mercúrio sem iodetos metálicos. A substituição resulta em uma redução média de 10% no consumo de energia eléctrica e um acréscimo médio de 65% no fluxo luminoso, possibilitando maior eficiência energética, maior percepção de contrastes e economia na iluminação pública, embora com inferior qualidade de reprodução cromática [14].

- Lâmpadas a vapor de mercúrio de iodetos metálicos

Como já referido as lâmpadas de vapor de mercúrio e de sódio não são apropriadas sempre que seja exigido um elevado índice de restituição de cores. São lâmpadas que combinam iodetos metálicos, apresentando altíssima eficiência e excelente índice de reprodução de cor. O mercúrio mantém-se no tubo de descarga mas pouco contribui para que seja obtida a radiação desejada. A maioria das lâmpadas de descarga de gás precisa de pelo menos um electrão livre, combinado com um impulso para iniciar a operação da lâmpada e para produzir luz [18,22].

A constituição deste tipo de lâmpada encontra-se ilustrada na figura 3.18.

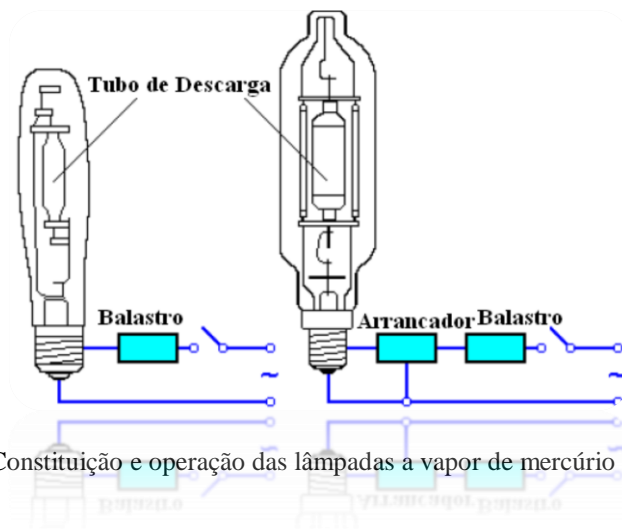


Figura 3.18 – Constituição e operação das lâmpadas a vapor de mercúrio de iodetos metálicos [22].

As principais características deste tipo de lâmpadas são [12,21]:

- Potência: 10-18000W;
- Eficiência Luminosa: até 100 lm/W;
- IRC: 80 a 100%;
- Temperatura de cor: 3000 a 6000 K;
- Tempo de vida útil: 9000 a 15000 horas.

Este tipo de lâmpada produz uma luz extremamente branca e brilhante e apresenta uma longa durabilidade e baixa carga térmica [19]. Portanto, a lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos pode ser considerado como uma lâmpada de vapor de mercúrio aperfeiçoada. Neste tipo de lâmpadas apenas 25% da energia é convertida em radiação visível, apresentando assim uma maior eficiência energética em relação às de mercúrio. Na figura 3.19 está representado a decomposição da energia consumida por este tipo de lâmpada [22].

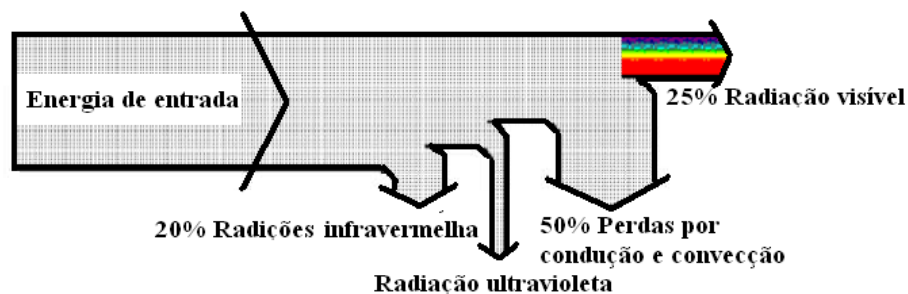


Figura 3.19 – Decomposição da energia consumida por uma lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos [22].

As lâmpadas de sódio, via de regra, são mais eficientes que as de vapor de mercúrio de iodetos metálicos, mas perdem na qualidade da luz. Já as lâmpadas incandescentes e halogéneas poderiam competir com as de vapor de mercúrio de iodetos metálicos no que se refere à qualidade da luz e das

cores, mas perdem, de longe, na eficiência energética e, consequentemente, na questão da potência instalada e da carga térmica.

Estas lâmpadas são especialmente recomendadas quando se quer óptima qualidade na reprodução de cores como em lojas, supermercados, estádios e pistas de corrida.

Posteriormente, apresenta-se algumas lâmpadas de **descarga de baixa pressão**.

Lâmpadas de descarga de Baixa Pressão:

- Lâmpadas Fluorescentes Tubulares

A lâmpada fluorescente tubular é uma lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão, que consiste num tubo de vidro de descarga revestidos internamente com fósforo e eléctrodos de fio de tungsténio revestidas de um emissor térmico selado em cada extremidade do tubo. É preenchido com um ou mais gases inertes (geralmente árgon) e vestígios de mercúrio. A superfície interior do tubo de descarga está revestida com uma substância fluorescente que transforma a radiação ultravioleta produzida pela lâmpada em luz visível por intermédio da fluorescência, como se pode visualizar na figura 3.20. O tipo mais comum da lâmpada fluorescente tubular é uma lâmpada de luz branca fria, com um tom ligeiramente azul [18].

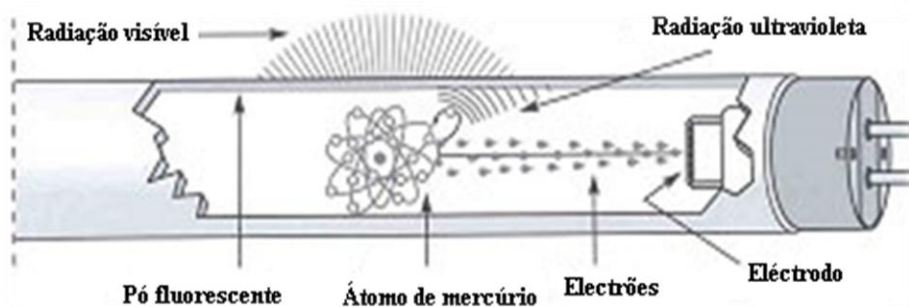


Figura 3.20 – Constituição da lâmpada fluorescente tubular [19].

As lâmpadas fluorescentes tubulares precisam de um arrancador, para regular a entrada de corrente e tensão, de maneira a iniciar a lâmpada de descarga e manter o nível exigido [16].

As principais características deste tipo de lâmpadas são [12,21]:

- Potência: 10-140W;
- Eficiência Luminosa: 60 a 100 lm/W;
- IRC: 60 a 90%;
- Temperatura de cor: 2700 a 6000 K;
- Tempo de vida útil: 8000 horas.

As lâmpadas fluorescentes apresentam IRC elevado, possibilitando muito boa reprodução de cores sendo muito utilizadas em iluminação de grandes áreas como escritórios, bancos, lojas, escolas, hospitais, hotéis, supermercados, etc. No caso dos supermercados podem ser usadas nas zonas que apresentam cores frias (por exemplo na Zona da Peixaria) devidos à sua temperatura de cor.

Existem diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes tubulares que diferem na potência consumida, tais como: **T12**, **T8** e **T5**. Estas últimas já são usadas no caso de estudo e devem ser as lâmpadas a utilizar no futuro, porque conseguem um aumento de 7% na eficiência relativamente às lâmpadas T8 e 15% comparativamente às lâmpadas T12. Contudo, necessitam de um balastro e uma luminária diferente das suas antecessoras [21].

Estas lâmpadas são muito utilizadas pois proporcionam uma boa iluminação com reduzida potência e baixo consumo energético, sendo as mais adequadas para locais com necessidades de longa iluminação. Estas lâmpadas têm uma elevada eficácia e um período de vida muito elevado, permitindo economizar energia até 85 % em relação às outras lâmpadas, dependendo do modelo e da potência [4].

Relativamente à eficiência energética, as lâmpadas incandescentes são menos eficientes quando comparadas com as lâmpadas fluorescentes.

- Lâmpadas Fluorescentes Compactas

Estas lâmpadas apresentam a mesma tecnologia das lâmpadas fluorescentes comuns, embora tenham uma forma mais compacta e sejam constituídas por um tubo de descarga curvo ou por uma combinação de vários tubos de menor dimensão. Estas lâmpadas podem ser de dois tipos: fluorescentes compactas integradas com alimentação incorporada, geralmente electrónica, não necessitando de acessórios externos para o seu funcionamento (balastro, arrancador e condensador) e fluorescentes compactas não integradas, que necessitam de acessórios externos, para o arranque normal ou com balastro electrónico. A vantagem das lâmpadas não integradas em relação às outras é que, além de serem mais leves, também são mais económicas porque o sistema de arranque é separado, possibilitando a reutilização mesmo quando a duração de vida da lâmpada termina [22,24].

Em relação às características, as relevantes deste tipo de lâmpada são [12,21]:

- Potência: 3-55W;
- Eficiência Luminosa: 50 a 69 lm/W;
- IRC: 85%;
- Temperatura de cor: 2700 a 4000 K;
- Tempo de vida útil: 8000 horas.

Estas lâmpadas garantem seu uso em locais onde fidelidade e valorização dos espaços e produtos são fundamentais. Mas, os locais a iluminar dependem da temperatura, ou seja, pode iluminar zonas de vendas como zonas de peixaria.

Quanto à construção, a lâmpada fluorescente compacta encontra-se ilustrado na figura 3.21.

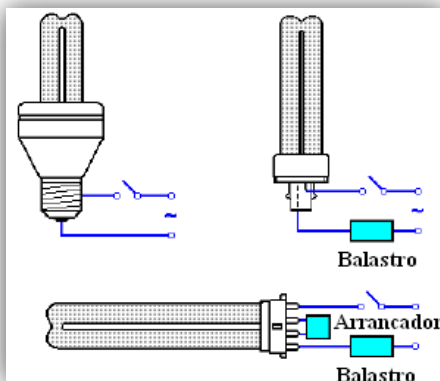


Figura 3.21 – Construção e operação das lâmpadas fluorescentes compactas [22].

As lâmpadas fluorescentes compactas apresentam as mesmas vantagens das tubulares, no entanto, têm uma instalação compatível com os casquilhos tradicionais usados para as lâmpadas incandescentes, tornando as compactas uma alternativa com maior eficiência e economia [4].

As lâmpadas fluorescentes compactas, são energeticamente mais eficientes que as lâmpadas de halogéneo.

- Lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão

Estes tipos de lâmpadas são comparáveis às lâmpadas a vapor de mercúrio de baixa pressão (lâmpadas fluorescentes) na forma como são construídas, mas diferenciam-se no funcionamento, pois utilizam vapor de mercúrio usa vapor de sódio. Assim, esta lâmpada é constituída por uma ampola, dentro da qual existe um tubo de descarga com gás (néon ou árgon) e sódio depositado nas suas paredes, de acordo com a figura 3.22. A ionização do gás desta lâmpada tem e ser feita com uma tensão relativamente elevada (superior à da rede), pelo que se utiliza para seu arranque um transformador.

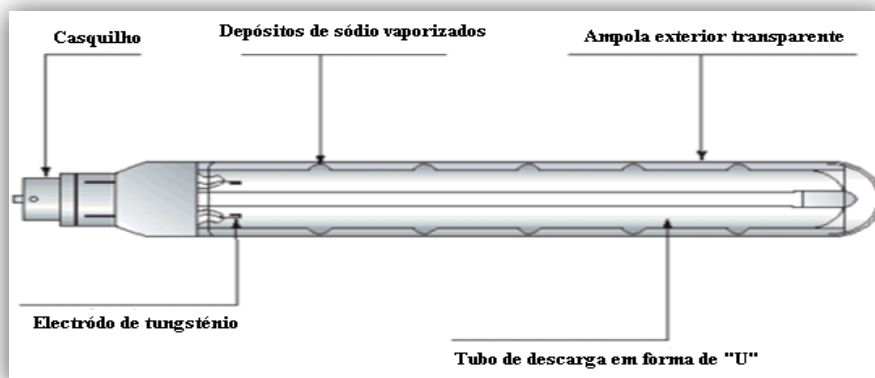


Figura 3.22 – Constituição da lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão [22].

As lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão, ao contrário das fluorescentes, possuem um rendimento luminoso extremamente elevado. Como estas lâmpadas têm uma duração de vida muito longa constituem a fonte de luz mais eficiente e económica. Mas a desvantagem destas lâmpadas consiste na restituição de cor ser muito fraca [22].

As principais características deste tipo de lâmpadas são [21,22]:

- Potência: 50-1000W;
- Eficiência Luminosa: 80 a 200 lm/W;
- IRC: 10%;
- Temperatura de cor: 2800 K;
- Tempo de vida útil: 12000 a 18000 horas.

Estas lâmpadas são preteridas pelas lâmpadas de sódio de alta pressão devido a possuírem um IRC e uma eficiência energética superior. Em função das suas características serão excluídas no caso de estudo.

3.6.1.3. Lâmpadas de Indução

A lâmpada de indução electromagnética é uma fonte luminosa que apresenta interessantes aspectos práticos e de fiabilidade, que emite luz instantaneamente, mesmo após uma interrupção de funcionamento, evidenciando-se uma inovação fundamental para o próprio conceito de sistemas de iluminação. Baseada no princípio da descarga de gás a baixa pressão, a principal característica desta lâmpada é o facto de prescindir da necessidade de eléctrodos para originar a ionização do gás [16,22].

Existem na actualidade dois sistemas distintos para produzir esta nova ionização do gás sem eléctrodos:

- ❖ Lâmpada fluorescente de alta potência sem eléctrodos;
- ❖ Lâmpada de descarga em gás a baixa pressão por indução.

Ambos os sistemas apresentam-se como a última geração de lâmpadas económicas. Estes tipos de lâmpadas, sendo energeticamente mais eficientes que as incandescentes, são similares às lâmpadas fluorescentes menos eficientes. Assim, estas lâmpadas são utilizadas em locais de difícil acesso e são uma boa solução para substituir lâmpadas incandescentes reflectoras devido à sua longa duração [21].

❖ Lâmpada fluorescente de alta potência sem eléctrodos

A descarga é feita por energia fornecida por um campo electromagnético externo, sem eléctrodos ou ligações a filamentos, sendo constituída ou por uma ampola com mercúrio com uma bobina interna, que excita o mercúrio, ou simplesmente por um tubo fechado com duas bobinas enroladas nas extremidades da lâmpada, como ilustra a figura 3.23. O campo magnético é produzido em dois anéis de ferrite, o que constitui uma vantagem importante para a duração da lâmpada [12,21,22].

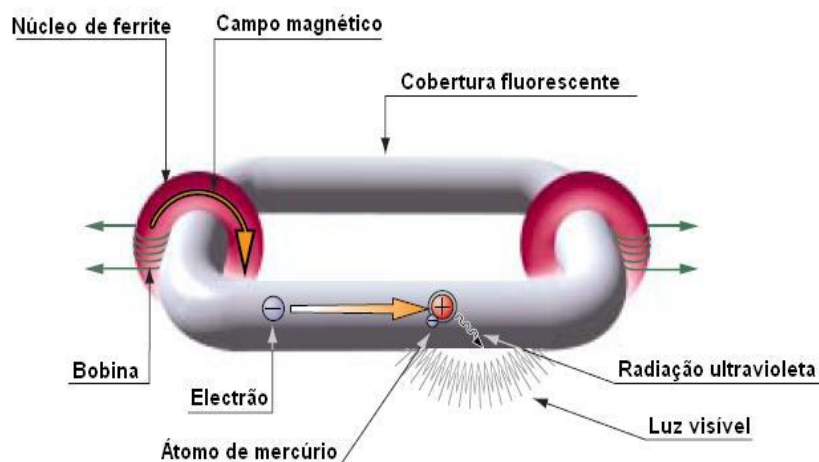


Figura 3.23 – Constituição da Lâmpada fluorescente de alta potência sem eléctrodos [21].

As características principais desta lâmpada são [12,21]:

- Potência: 100-150W;
- Eficiência Luminosa: até 80 lm/W;
- IRC: 80%;
- Temperatura de cor: 2700 a 4000 K;
- Tempo de vida útil: 60000 horas.

Em função destas características, são utilizadas em estradas, pátios, pontes, viadutos, isto é, iluminação exterior.

❖ Lâmpada de descarga em gás a baixa pressão por indução

Este tipo de lâmpada consiste num recipiente de descarga que contém gás a baixa pressão e num núcleo cilíndrico de ferrite, que cria um campo magnético induzindo uma corrente eléctrica no gás provocando a sua ionização. A energia suficiente para iniciar e manter a descarga é fornecida à antena por um gerador de alta frequência (2,65 MHz), mediante um cabo coaxial de comprimento determinado, já que faz parte do circuito oscilador.

As principais características deste tipo de lâmpadas são [22]:

- Potência: 55-165W;
- Eficiência Luminosa: 60 a 81 lm/W;
- IRC: 80%;
- Temperatura de cor: 2700 a 4000 K;
- Tempo de vida útil: 60000 horas.

3.6.1.4. Lâmpada LED

Os Díodos Emissores de Luz (LED - *Light Emitting Diode*) são dispositivos semicondutores constituídos por camadas de material semicondutor, em que os electrões se movem através da chamada junção P-N do semicondutor. Nesta junção, o lado P contém essencialmente lacunas (ou falta de electrões), enquanto o lado N contém essencialmente cargas negativas (ou excesso de electrões). A figura 3.24 ilustra um diagrama do processo [12,25].

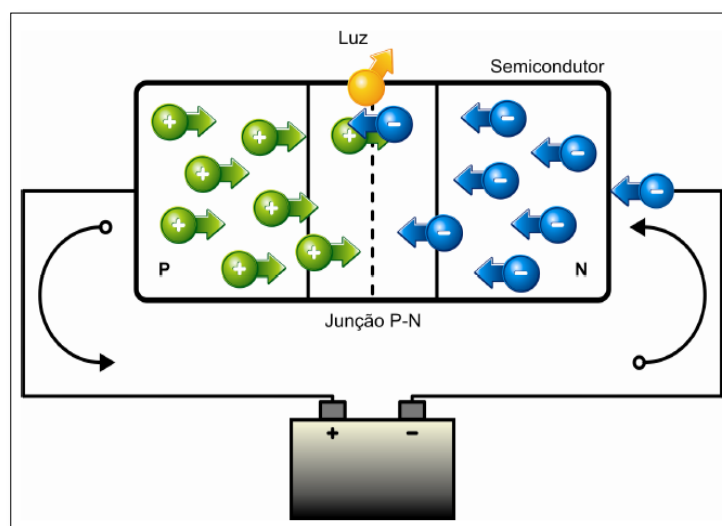


Figura 3.24 – Representação interna do princípio de funcionamento de um LED [25].

A luz emitida pelo LED é monocromática e o comprimento de onda está relacionado com o tipo de material utilizado na composição do semicondutor (gálio, alumínio, arsénio, fósforo, índio e nitrogénio). Esta variedade de elementos químicos e a combinação deles permitem a emissão de luz em uma ampla faixa do espectro. O espectro de radiação e as cores correspondentes, encontram-se ilustrados na figura 3.25. A cor branca é conseguido pela excitação de um composto de fósforo conversor no LED azul, passando da luz amarela para a branca [12,25].

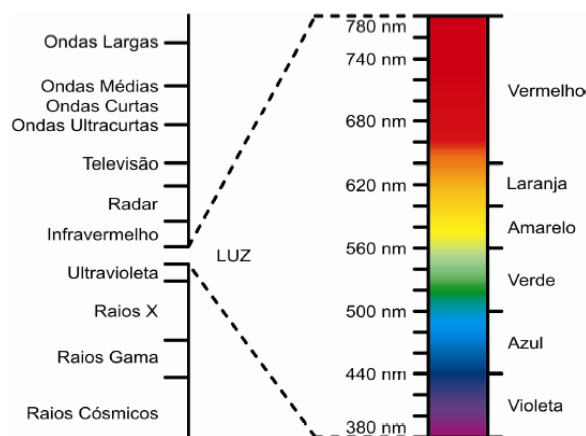


Figura 3.25 – Espectro de radiação e as cores correspondentes em relação ao comprimento de onda [25].

Os LEDs podem ser de baixa (0,1W), média (0,2W a 0,5W) e de alta potência (acima de 0,5W). Em geral, os de baixa e média potência são utilizados para sinalização e efeitos decorativos. Os de alta potência já podem ser aplicados em iluminação geral [26].

As principais vantagens dos LEDs, relativamente às restantes fontes de luz são:

- ❖ Tamanho reduzido;
- ❖ Funcionamento em corrente contínua para tensões muito baixas (< 33V);
- ❖ Baixo consumo (entre 0,75 e 3A) e uma eficiência energética (50 lm/W);
- ❖ Maior tempo de vida útil (50000 horas) e consequente baixa manutenção;
- ❖ Funcionamento fiável a todas as temperaturas (desde os -30°C aos +60°C);
- ❖ Temperatura de cor (3000 a 6000 K);
- ❖ Não emitem luz ultra-violeta;
- ❖ Não emitem radiação infravermelha, causando um feixe luminoso frio;
- ❖ Resistência a impactos e vibrações;
- ❖ Maior segurança.

Por outro lado, as desvantagens são:

- ❖ Custo de aquisição elevado, caso a aplicação seja desadequada;
- ❖ Índice de restituição de cor (IRC) pode não ser o mais adequado (60 a 90%);
- ❖ Necessidade de fontes de alimentação ou *interface* (transformador ou driver), que converte as características de alimentação de uma tomada comum para um padrão adequado ao funcionamento do LED;
- ❖ Necessidade de dispositivos de dissipação de calor nos LEDs de alta potência (a quantidade de luz emitida pelo LED diminui com o aumento da temperatura).

Devido ao baixo consumo de energia, robustez, tempo de vida útil longo e ao facto de não conterem mercúrio, os díodos emissores de luz (LEDs) representam novas oportunidades nas aplicações para iluminação [26]. O LED encontra-se ilustrado na figura 3.26.

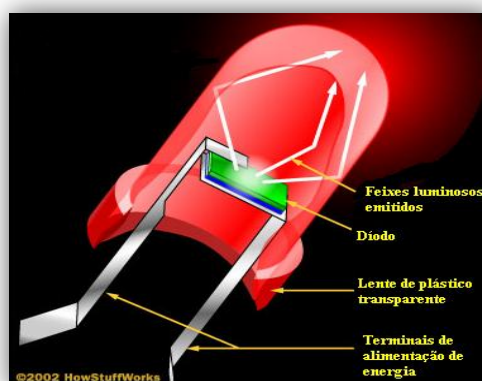


Figura 3.26 – Visão interior de um LED [27].

A eficiência energética das lâmpadas LEDs coloridas ultrapassa qualquer fonte de luz convencional. A eficiência do LED branco está a aumentar a um ritmo constante, pelo que a substituição das lâmpadas incandescentes convencionais por LEDs se tornará numa boa alternativa [15]. Esta lâmpada oferece muitos benefícios para a iluminação de supermercados, tem um: baixo consumo energético e não contém elementos perigosos (mercúrio).

Adicionalmente, ao assegurar uma maior eficiência e desempenho em termos energéticos, a tecnologia LED reduz o consumo e, conseqüentemente, as emissões de CO₂ para a atmosfera, um factor preponderante para se alcançar a necessária sustentabilidade energética.

3.6.2. Balastros

Balastros são dispositivos que têm por função limitar a corrente das lâmpadas de descarga. De forma a garantir o arranque, o balastro eleva a tensão de forma a estabelecer uma tensão suficientemente elevada entre os eléctrodos para dar origem ao aparecimento de um arco eléctrico (descarga) [21].

A correcta aplicação dos balastros garante melhor desempenho para os projectos eléctrico e luminotécnico, contribuindo directamente para a manutenção do fluxo luminoso e vida útil da lâmpada. Podem incluir equipamentos auxiliares para compensação do factor de potência. Existem duas grandes categorias de balastros: electromagnéticos e electrónicos.

Os balastros **electromagnéticos** são constituídos por um núcleo laminado de aço silício (com baixas perdas) e bobinas de fio de cobre esmaltado, impregnados com resina de poliéster adicionado com carga mineral, tendo um grande poder de isolamento e dissipação térmica [16].

Há vários tipos de balastros electromagnéticos disponíveis: os mais usuais são apropriados para o funcionamento com arrancadores, enquanto os menos vulgares são os destinados ao funcionamento com lâmpadas de arranque rápido, com eléctrodos pré-aquecidos e com circuito semi-ressonante. Em relação às perdas os balastros electromagnéticos podem ser classificados em 3 Classes: B (baixas perdas), C (standard), e D (altas perdas). Uma das medidas da UE em resposta ao protocolo de Quioto foi a redução da energia consumida pelas fontes de iluminação fluorescente, proibindo gradualmente até ao ano 2005 os balastros electromagnéticos de menor eficiência, substituindo-os por outros de maior eficiência energética. Os balastros da classe D, de maior consumo energético, deixaram de poder ser utilizados a partir de 20 de Maio de 2002 e desde 21 de Novembro de 2005 passou a ser proibida a venda dos balastros da classe C (magnéticos standard) [22].

Os balastros **electrónicos** são constituídos por um andar de filtragem, um rectificador, um ondulator e um circuito de detecção de falhas (monitorização), como mostra a figura 3.27.

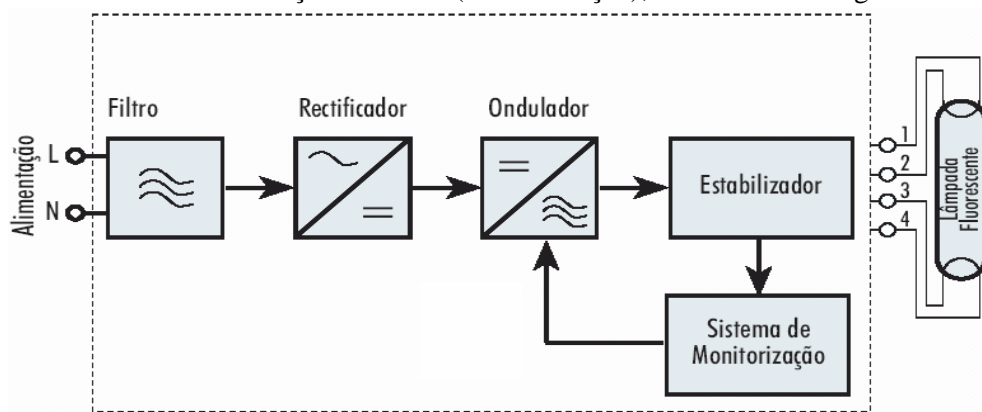


Figura 3.27 – Diagrama de um balastro electrónico [21].

Estes balastros convertem a tensão de 50 Hz numa alta frequência, aumentando assim a eficiência da lâmpada (operando a uma frequência de 20 kHz, a eficiência da lâmpada aumenta 10%) [21]. Os balastros electrónicos podem ser classificados nas seguintes classes: A1 (balastros electrónicos com regulação), A2 (balastros electrónicos com baixas perdas) e A3 (balastros electrónicos standard).

A utilização de balastros electrónicos apresentam inúmeras vantagens em relação aos electromagnéticos, entre as quais [22]:

- Aumento do rendimento luminoso;
- Eliminação do ruído audível pois estes balastros funcionam acima da gama audível de frequências;
- Menor potência absorvida;
- Aumento do tempo de vida da lâmpada porque efectua um pré-aquecimento dos eléctrodos diminuindo o desgaste do material emissor de electrões;
- Controlo versátil do fluxo luminoso;

- Diminuição de peso e tamanho;
- Não necessitam de equipamentos para compensação do factor de potência.

Os balastros electrónicos proporcionam maior fluxo luminoso com menor potência de consumo, transformando assim estes balastros em produtos economizadores de energia e com maior eficiência que os balastros electromagnéticos [26].

Quanto à classificação (potência máxima admissível para um balastro de 36 W) temos as seguintes classes:

Tabela 3.4 – Classe de eficiência energética dos balastros [21].

Classe	Descrição	Potência máxima admissível para um balastro de 36W (W)
A1	Balastros electrónicos com regulação de fluxo	≤ 38 (100%) ≤ 19 (25%)
A2	Balastros electrónicos de perdas reduzidas	≤ 36
A3	Balastros electrónicos	≤ 38
B1	Balastros electromagnéticos de perdas muito reduzidas	≤ 41
B2	Balastros electromagnéticos de perdas reduzidas	≤ 43
C	Balastros electromagnéticos convencionais	≤ 45
D	Balastros electromagnéticos de perdas elevadas	> 45

Através da análise da tabela, verifica-se que os balastros com regulação de fluxo apresentam a melhor classe em termos de eficiência energética.

Nesta dissertação o consumo do balastro não interferiu nos cálculos devido à dificuldade de extrair os balastros das luminárias de forma a identificá-los. Desta forma não foi contabilizado o consumo do balastro.

3.6.3. Luminárias

Luminária é um dispositivo eléctrico que além de servirem para suportar as lâmpadas, dirige a distribuição da luz emitida por uma ou mais fontes de luz. Devem incluir todos os elementos necessários para a fixação e protecção das lâmpadas e para a sua ligação ao circuito de alimentação. Dois desses dispositivos são os reflectores e os difusores.

O **difusor** evita que a luz seja enviada directamente da lâmpada para os objectos ou pessoas, enquanto um **reflector** é uma superfície que existe no interior duma luminária e que reflecte a luz.

Desta forma, a luz é melhor aproveitada, pois a porção da luz emitida para cima, no caso duma lâmpada pendurada no tecto, é reenviada para baixo.

Assim, para cada uso e para cada efeito que se deseja obter, existe um tipo de luminária mais adequada. Ao efectuar a escolha da luminária deve-se ter especial atenção, o consumo de energia eléctrica que o modelo requer. Embora haja uma grande variedade de luminárias, estas podem ser divididas em cinco categorias de acordo com a forma como elas controlam ou distribuem a luz [21,23,26]:

Tabela 3.5 – Distribuição de luz emitida por vários tipos de luminárias [23].

Tipo	Distribuição de luz emitida por luminárias	
	Para cima (%)	Para baixo (%)
Indirecta	90-100	0-10
Semi-indirecta	60-90	10-40
Difusa ou Mista	40-60	40-60
Semi-directa	10-40	60-90
Directa	0-10	90-100

Como geralmente a lâmpada é instalada dentro de luminárias, o fluxo luminoso final disponível é menor do que o irradiado pela lâmpada, devido à absorção, reflexão e transmissão da luz pelos materiais com que são construídas as luminárias. Logo, a selecção da luminária revela a importância no ponto de vista da redução de perdas [11].

A eficiência energética depende da luminária e da configuração da lâmpada. Por exemplo, se a lâmpada for instalada na luminária errada, mesmo que esta seja muito eficiente pode funcionar de forma ineficiente [16,18].

3.7. Iluminação natural e Sistemas de controlo de iluminação

3.7.1. Iluminação natural

A preocupação relacionada com o consumo excessivo de energia dos edifícios fez surgir a arquitectura sustentável. Este conceito visa a implementação de sistemas de controlo energético, captação e armazenamento de calor, redireccionamento de luz, circulação de ar e produção de electricidade, com o intuito de reduzir o impacto ambiental.

De facto com, a combinação da luz natural com a iluminação artificial pode chegar-se a reduzir, o consumo energético na ordem dos 30 a 50%, e em alguns casos pode chegar mesmo aos 60 a 70% [28]. Estas percentagens são demasiado significativas económicas e ambientalmente para serem ignoradas. Principalmente quando os valores de luz natural possíveis de captar num espaço aberto, durante a maior parte do dia, excedem as quantidades de luz necessárias num espaço interior.

A iluminação natural, apesar de ser variável ao longo do ano, dos meses, dos dias e de minuto a minuto deve ser avaliada de forma a se poder elaborar projectos luminotécnicos energeticamente eficientes, em que a iluminação artificial seja utilizada apenas como forma de suprir as necessidades de iluminação quando a luz natural não for capaz de o fazer [16,23].

Existem duas técnicas de aproveitamento da luz natural, sendo estas denominadas de iluminação **lateral** e **zenital**. A escolha do sistema adequado de iluminação deve ser determinada em função das características do edifício nomeadamente da sua forma, orientação e da disposição dos elementos que constituirão o seu interior.

A técnica de iluminação **lateral** é a mais comum e consiste na localização adequada das janelas em relação ao interior e nas características de cada tipo de fechamento. Em ambientes com este tipo de iluminação, o nível de iluminância diminui rapidamente com a distância da janela e a distribuição da luz não é uniforme pelo ambiente [29].

Referentes aos sistemas de iluminação **zenital** as aberturas localizam-se nos planos horizontais ou de cobertura das edificações. Esta técnica pode ser utilizada quer seja para obter uma iluminação mais uniforme quer para locais profundos. No entanto, possui um custo inicial elevado e uma maior dificuldade para a localização dos elementos de controlo, protecção solar e ventilação. As aberturas zenitais possuem diversas tipologias convencionais tais como: *Sheds*, *Lanternins*, *Tecto de Dupla Inclinação*, *Domus* ou *Cúpulas* e *Clarabóias tubulares* [28,30].

Contudo, a utilização da luz natural é, sob todos os aspectos, o ponto de partida para se obter um sistema de iluminação energeticamente eficiente, mas no caso prático não existe presença de luz natural, apenas de iluminação artificial.

3.7.2. Sistemas de controlo de iluminação

Os sistemas de controlo permitem regular a operação do sistema de iluminação. A escolha apropriada do sistema de controlo da iluminação proporciona poupanças elevadas que podem atingir 50% [21] do consumo. Os sistemas são os seguintes:

- **Comando manual**

A utilização do sistema “on /off” é a estratégia mais antiga do comando de iluminação em função da luz natural disponível. Esta função de controlo básico é caracterizada pelo interruptor da parede comum. O grau em que essa função é executada depende de outras variáveis como o reconhecimento de ocupação e do bom senso dos utilizadores desse interruptor. Por isso, define-se como um sistema pouco eficiente [16].

- **Comando automático**

- Controlo temporizado

Com este sistema a iluminação é ligada e desligada automaticamente mediante um horário predefinido, coincidindo com o horário em que normalmente é utilizado o espaço em questão. Dentro deste sistema são geralmente utilizados os interruptores horários, que permitem comandar circuitos de iluminação num horário pré-determinado. Estes interruptores podem ser analógicos e digitais, mas estes últimos são mais caros, pois permitem guardar o programa em memória, com 1 ou mais canais, permitindo comandar mais do que um circuito. No entanto deve-se sempre prever a possibilidade de activar manualmente a iluminação fora do período estabelecido [16,21].

Estes sistemas constituem muitas vezes uma solução simples e eficiente, quer do ponto de vista energético, quer da produtividade e até da própria segurança [16].

- Controlo sensível à ocupação

Este sistema liga a iluminação durante um determinado período de tempo, apenas quando detecta a ocupação do espaço em causa [21]. Para efectuar este tipo de controlo é necessário dispor de sensores que podem ser de três tipos diferentes: infravermelhos passivos, ultra-sónicos e híbridos. Os sensores infravermelhos passivos reagem à emissão de calor pelos corpos em movimento no campo de visão, enquanto os sensores ultra-sónicos emitem ondas ultra-sónicas para detectar a presença de ocupantes. Já os híbridos utilizam ambas as tecnologias, minimizando o risco de falsos disparos. Contudo, todos estes tipos de sensores baseiam-se na presença de movimento que desligam as lâmpadas automaticamente em ambientes desocupados, acendendo-as, da mesma forma, quando o ambiente é ocupado o que se traduz numa poupança de energia [16]. As poupanças alcançadas dependem do espaço e do perfil da ocupação, no entanto variam normalmente entre 35 e 45%. Este sistema de controlo por norma é utilizado em espaços em que a sua ocupação é irregular [21].

- Controlo sensível ao nível de iluminação

Os sensores de luminosidade, podem ser instalados no interior ou no exterior da instalação, podendo controlar várias luminárias ou serem instalados localmente. Este sistema pode ser dividido

em duas categorias: interruptores crepusculares e reguladores de fluxo “*dimming*” [21]. Os interruptores crepusculares, permitem comandar circuitos de iluminação a partir de um dado nível de iluminância medido com uma célula fotoelétrica. Estes dispositivos permitem fazer um aproveitamento da luz natural e devem ser usados em conjunto com interruptores horários nas situações em que o horário de trabalho não coincida com as horas em que a iluminação é suficiente [31]. Nos sistemas de “*dimming*” existe a associação de reguladores de fluxo com sensores de luz natural. Neste sistema, o nível de iluminação é adaptado para valor global pretendido, assegurando que com conjunto da iluminação natural e artificial, mantém a mesma luminosidade no local [21].

Estes sistemas permitem otimizar a utilização das instalações de iluminação, resultando normalmente em economias de energia significativas, sem prejuízo dos níveis de conforto visual necessários em cada local. Tendo como a principal desvantagem um custo de investimento muito elevado [31].

Há uma infinidade de particularidades e modelos de sensores que podem determinar a escolha do sensor apropriado para um determinado ambiente. A tabela apresentada no Anexo II tem como objectivo de orientar o projectista na fase de projecto [21].

A escolha de um sistema de gestão de iluminação revela-se particularmente difícil porque depende de numerosos parâmetros tais como a iluminação natural disponível, os tipos de lâmpadas utilizadas, o tipo e disposição das armaduras, o modo de ocupação do espaço, as dimensões do local e o número de ocupantes [31]. Assim, na tabela 4.5 encontra-se uma comparação de vários tipos de controlo de iluminação.

Tanto os comandos automáticos como manuais contribuem para a diminuição do tempo de vida das lâmpadas. Contudo este efeito é mínimo quando comparado com as poupanças proporcionadas por um adequado sistema de controlo.

Tabela 3.6 – Comparação de vários controlos de ocupação [31].

	Sensibilidade de ocupação	Seleção do nível de luz	Potencial de poupança de energia	Gestão de dados	Capacidade de integração	Adaptação ao espaço	Custo
Interruptores (on/off)	Bom	Razoável	Razoável	Não	Não	Fraco	Médio
Sistemas de controlo (on/off) automático de edifícios	Fraco	Fraco	Fraco	Sim	Sim	Bom	Baixo
Controladores à base de temporizadores programáveis	Excelente	Razoável	Bom	Sim	Sim	Bom	Médio
Reguladores de fluxo baseados em controlos programáveis	Excelente	Excelente	Excelente	Sim	Sim	Bom	Elevado
Sistema baseado em sensores de ocupação	Excelente	Fraco	Bom	Não	Não	Fraco	Elevado

Os sistemas de controlo por regulação do fluxo luminoso, embora de maior custo, apresentam as melhores características a longo prazo, contudo os sistemas temporizadores constituem muitas vezes a solução mais eficiente, quer do ponto de vista energético, quer da economia. Em relação ao caso de estudo, o sistema de controlo usado são os sistemas temporizadores, correspondendo ao mais eficiente.

3.7.3. Sistemas de Gestão Centralizada da Iluminação

Em termos de gestão, a arquitectura dos novos sistemas de iluminação caracteriza-se por um controlo local por grupos, permitindo um registo inicial de cenários luminosos na memória da unidade de gestão. Um sistema de gestão centralizada apresenta três grandes vantagens: permite registar muitas informações úteis para a gestão energética e para a manutenção das fontes luminosas, assegura a integração do sistema de iluminação no sistema de gestão centralizada do edifício e por último confere uma grande flexibilidade ao sistema. No entanto este sistema de gestão centralizado da iluminação apresenta duas desvantagens: elevado investimento inicial e exige uma separação dos circuitos de potência [16,31].

3.8. Conclusões

Desde o aparecimento da primeira lâmpada, vários foram os progressos feitos na iluminação, de tal modo que nos dias de hoje a grande preocupação não é somente iluminar, mas iluminar bem quantitativa e qualitativamente, com menores gastos energéticos. Actualmente, a eficiência dos aparelhos e componentes que constituem um sistema de iluminação não poderá ser o único factor a ter em consideração na elaboração de um projecto luminotécnico. O projectista deverá analisar e avaliar, recorrendo ao uso de programas computacionais, a quantidade de iluminação natural existente no interior dos edifícios durante o seu período de ocupação. Os programas computacionais permitem obter uma visualização realista do espaço antes de este ser projectado. É um aliado do projectista luminotécnico, pois permite modificar ambientes, obter representações fotorrealistas, resultados numéricos e efectuar cálculos precisos de iluminação em menor tempo e com maior precisão, além de que permitem facilmente determinar a concordância do projecto com a legislação em vigor.

O sistema de comando e a divisão de circuitos de iluminação deverá ser escolhido de modo a aproveitar a maior quantidade de radiação solar, visto esta se tratar de uma fonte energética grátis, inesgotável e não poluente, além disso trata-se da fonte luminosa que melhor proporciona uma iluminação de qualidade.

CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

O objectivo da avaliação da eficiência energética de sistemas de iluminação é analisar a situação actual das instalações e equipamentos, identificar as necessidades e oportunidades de intervenção, definindo a ordem de grandeza da economia e dos custos. O uso eficiente de energia deve estar voltado para a implementação de um conjunto integrado de acções que induzam a um aumento da eficiência do consumo de energia, transformando os resultados em lucros, no contexto de utilizar sistemas de iluminação energeticamente eficientes e eficazes.

4.1. Eficiência energética de sistemas de iluminação em edifícios

A conversão da energia eléctrica em luz deve ser realizada utilizando a menor quantidade de energia possível, mas assegurando, simultaneamente, as condições de visão e conforto adequadas. Se as condições visuais e de conforto de um determinado espaço forem satisfeitas então poder-se-á avaliar a eficiência do sistema de iluminação mediante a quantidade de energia dissipada pelo sistema [32].

Tendo em conta que o consumo associado a um sistema de iluminação acompanha as necessidades e utilização dos locais, logo este não é constante ao longo do tempo (período t). Para calcular a energia consumida pelo sistema é necessário proceder à integração da potência em ordem do tempo de acordo com a equação (4.1).

$$Ec = \int_0^T p(t)dt \quad (4.1)$$

Sendo:

Ec = Energia consumida pelo sistema de iluminação (kWh) num período entre 0 e T (horas);

$p(t)$ = Potência instantânea do sistema de iluminação (kW);

Da equação (4.1) facilmente se conclui que a eficiência de um sistema de iluminação dependerá da Potência (p) e do intervalo de tempo considerado. Uma das variáveis está intrinsecamente relacionada com a instalação, a potência (p), e a outra com o tempo que se encontra em funcionamento (t).

Cada ambiente requer um determinado nível de iluminância ideal, estabelecido de acordo com as actividades a serem desenvolvidas, segundo a tabela do Anexo I [12].

Foram legisladas no parlamento europeu, várias normas das quais resultou a criação do regulamento dos sistemas energéticos de climatização de edifícios (RSECE), o qual impõe que edifícios de serviços sejam avaliados pelo cálculo do seu indicador de eficiência energética (IEE), por simulação dinâmica. No entanto, o que diz respeito à iluminação, apenas se leva em conta a potência instalada. O IEE é calculado pela expressão (4.2) [33]:

$$IEE = IEE_I + IEE_V + \frac{Q_{out}}{A_p} \quad (4.2)$$

Em que:

IEE_I = indicador de eficiência energética de aquecimento;

IEE_V = indicador de eficiência energética de arrefecimento;

Q_{out} = consumo energético de outros equipamentos;

A_p = área útil de um edifício.

A parcela Q_{out} pode ser dividida entre consumos energéticos com equipamentos típicos (definidos pelo RSECE para cada tipologia de edifício) e consumos para iluminação (neste caso o RSECE só define os perfis de utilização). Deste modo, conhecendo o IEE_{ref} que é o valor máximo que o RSECE impõe para cada tipologia de edifício e os consumos necessários para climatização, o valor máximo de potência a instalar para iluminação pode ser determinado.

A parcela $\frac{Q_{out}}{A_p}$ corresponde aos consumos energéticos não ligados a processos de climatização. Esta parcela pode ser dividida em duas partes, uma relativa aos consumos de equipamentos típicos para cada tipologia de edifício, designadamente para aquecimento de águas sanitárias e elevadores, entre outros, e outra relativa aos consumos do sistema de iluminação. O valor de Q_{out} pode ser calculado pela seguinte expressão [33]:

$$\frac{Q_{out}}{A_p} = \frac{Q_{equipamentos}}{A_p} + \frac{Q_{iluminação}}{A_p} \quad (4.3)$$

Onde:

$\frac{Q_{equipamentos}}{A_p}$ = Consumos energéticos relativos a equipamentos típicos para cada tipologia de edifício (kgep/m².ano);

$\frac{Q_{iluminação}}{A_p}$ = Consumos energéticos para iluminação (kgep/m².ano).

Assim, sabendo os consumos energéticos não ligados aos processos de climatização, facilmente se retira a seguinte correlação:

$$Q_{iluminação} = Q_{out} - Q_{equipamentos} \quad (4.4)$$

Da expressão (4.4) é possível determinar a influência dos consumos energéticos da iluminação no indicador de eficiência energética, tendo em conta os mesmos níveis de iluminação.

4.2. Melhoria da eficiência energética nos sistemas de iluminação dos edifícios já existentes

4.2.1. Auditorias energéticas

O conceito de Utilização Racional de Energia, surgido no seguimento dos chamados choques petrolíferos, veio alterar decisivamente a forma de encarar a energia, demonstrando ser possível crescer sem aumentar os consumos ou afectar a qualidade da produção. A chave da questão designa-se gestão de energia. Como qualquer outro factor de produção, a energia deve ser gerida de forma contínua e eficaz. É assim que assumem particular importância o *levantamento* e a *auditoria energética*. O levantamento energético pode interpretar-se como a primeira radiografia ao desempenho energético de uma determinada instalação. Através dele, avalia-se a quantidade de energia efectivamente consumida e de que forma essa mesma é energia utilizada. Estabelecem-se os principais fluxos energéticos e identificam-se os sectores ou equipamentos onde será prioritário actuar. Por auditoria energética entende-se o exame detalhado das condições de utilização da energia na instalação. A auditoria permite conhecer onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia, indicando igualmente soluções para as anomalias detectadas.

A auditoria energética surge assim como um instrumento fundamental, que o gestor de energia possui para contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade reduzir essas perdas sem afectar a produção, isto é, economizar energia através do uso mais eficiente da mesma [34].

4.2.2. Metodologia

Com o objectivo de analisar apenas o desempenho dos sistemas de iluminação patentes na instalação em estudo, procede-se à simulação do ambiente através de um programa apropriado para o efeito.

A simulação computacional auxilia a compreensão de fenómenos físicos da luz, avaliando o impacto decorrente da manipulação dos materiais, das cores, das lâmpadas e luminárias nos níveis de iluminação. Dessa forma, a simulação serve para dar apoio técnico a julgamentos ou suposições feitas durante o processo de projecto. Os programas computacionais permitem obter uma visualização realista do espaço antes de este ser projectado. É um aliado do projectista luminotécnico, pois permite modificar ambientes, obter representações fotorrealistas, resultados numéricos e efectuar cálculos precisos de iluminação em menor tempo e com maior precisão, além de que permitem facilmente determinar a concordância do projecto com a legislação em vigor.

Após a definição dos objectivos a avaliar segue-se a análise prévia do edifício em estudo. Recolhe-se o maior número de informação e detalhe possível, sendo essencial obter os elementos desenhados, como plantas, cortes e alçados, imagens e a memória descritiva do projecto. Depois da análise destes elementos é indispensável efectuar visitas à instalação, de forma a observar o comportamento do sistema de iluminação no seu interior.

Depois de designadas as zonas a estudar e as suas condições desejadas, Capítulo 3, procede-se ao seu registo fotográfico e ao levantamento dos níveis de iluminação, das luminárias e das lâmpadas. Existindo uma vasta diversidade de sistemas de iluminação suscita a necessidade de simular as condições de iluminação. A calibração do modelo passa por comparar e ajustar os resultados obtidos através das simulações com medições reais efectuadas nas diversas zonas.

Para medir a iluminância num determinado ponto interior é necessário definir uma grelha de pontos, nas zonas onde se pretende efectuar as medições. Os pontos devem ser igualmente espaçados entre si e as medições realizadas ao nível do plano principal de trabalho ou tarefa visual. As medições foram conduzidas com um luxímetro portátil TESTO 540.

Com a finalidade de estabelecer um protocolo a adoptar neste estudo de sistemas de iluminação, foi desenvolvida uma metodologia cujo fluxograma se apresenta de seguida.

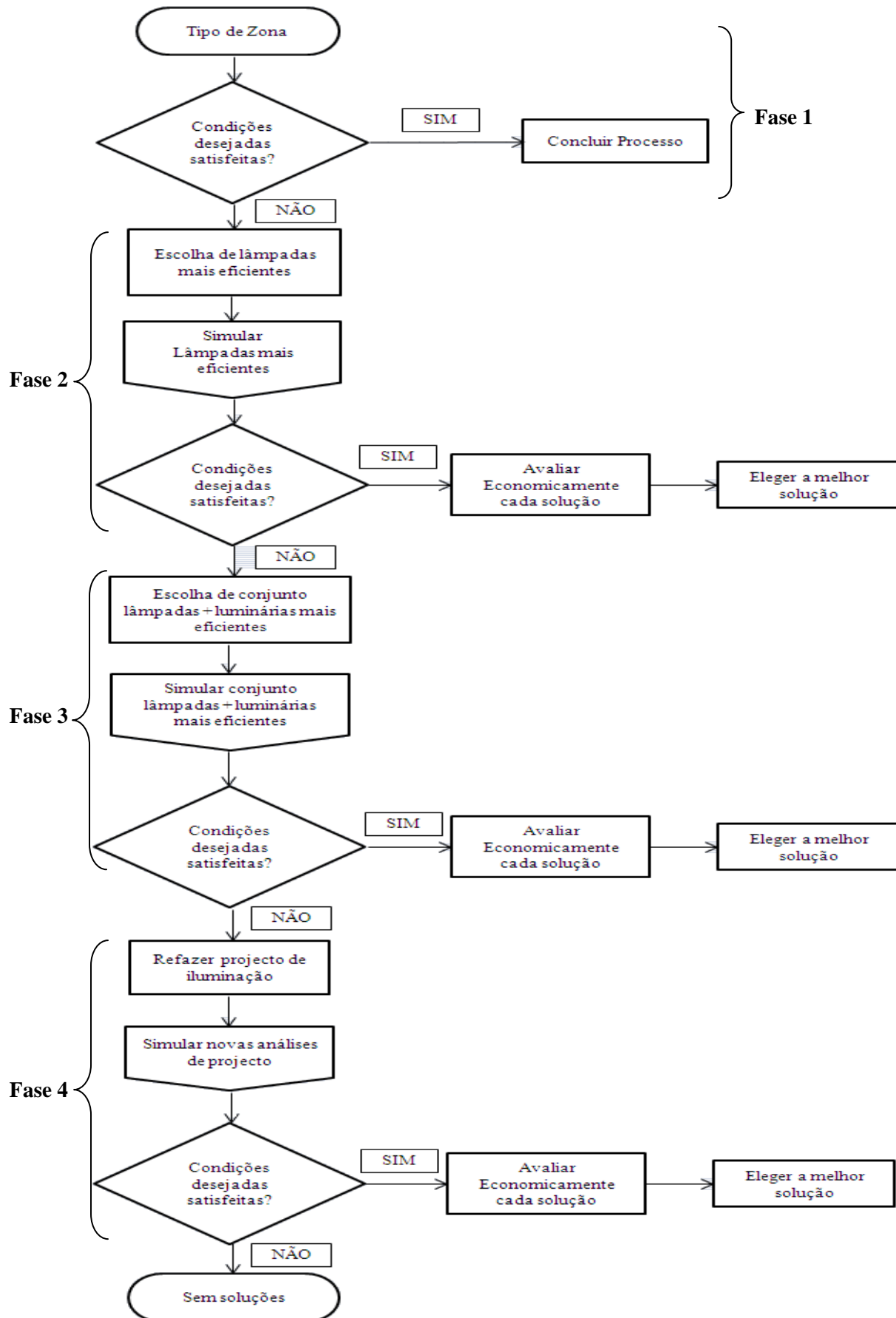


Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia desenvolvida.

Antes de iniciar a metodologia faseada, deve-se identificar o tipo de edifício inserido no caso de estudo, quais as áreas ou zonas que apresentam maior interesse e a sua importância em sistemas de iluminação.

Posteriormente torna-se relevante, proceder a uma caracterização física do edifício. Depois, antes de entrar propriamente nas fases da metodologia prossegue-se para um estudo prévio que incide nas principais características luminotécnicas nas diversas zonas de estudo. Estas características envolvem o levantamento dos equipamentos instalados (tipo, quantidade e potência das lâmpadas), a medição e avaliação dos níveis de iluminação, pé direito, densidade de iluminação, potência total, consumos anuais e custos.

Feito esse estudo prévio verifica-se o edifício se está ou não sobredimensionado, caso esteja prossegue-se a uma análise individual dos sistemas de iluminação nas zonas de estudo. Caso contrário, torna-se oportuno estudar vias mais eficientes em termos económicos e energéticos dos sistemas de iluminação.

Para facilitar a caracterização individualizada de cada uma das zonas utiliza-se uma ferramenta computacional, *DIALux 4.9 de software light*, permitindo calcular com precisão a forma como a luz se distribui no ambiente, produzindo cenários realistas e valores médios de iluminâncias.

Depois de analisado o tipo de edifício existente e designadas as zonas a estudar (Capítulo 3), prossegue-se às fases da metodologia.

Fase 1:

A fase inicial consiste na caracterização individual dos tipos de zonas que apresentam maior interesse. Após escolhido o tipo de zona a estudar, realiza-se uma visita ao local em causa de modo a efectuar uma medição real dos níveis de iluminação pelas diversas zonas com o auxílio de um luxímetro.

O sistema de iluminação do edifício é simulado utilizando o *software DIALux*. Esta ferramenta computacional permite realizar estudos luminotécnicos e simulação das condições de luminosidade existentes no interior do edifício. A simulação do sistema de iluminação tem em conta a realidade existente, incluindo o mobiliário e outros objectos, visto que a sua disposição condiciona a iluminância da área de trabalho. Assim, através da simulação são dados os gráficos de valores dos níveis de iluminação e das linhas isolux da respectiva zona.

Depois de analisar ambos os resultados, averigua-se o sistema de iluminação se encontra ou não sobredimensionado e se as condições obtidas são as desejadas para a zona. Por condições desejadas entende-se iluminância, temperatura de cor, IRC adequados bem como qual o consumo energético

máximo estabelecido para essa zona. Este conjunto de especificações depende de zona para zona, das quais é possível utilizar um subconjunto em cada caso. Por exemplo, na zona de Talho as condições desejadas são: iluminância aproximadamente 500 lux, temperatura de cor quente e um IRC superior a 80%.

Por sua vez, mesmo que o sistema não se encontre sobredimensionado, torna-se relevante analisar a sua potência total para verificar se existe excesso de potência instalada no sistema de iluminação. Este factor é considerado uma especificação, porque o sistema de iluminação deve utilizar menor potência possível.

Caso as condições desejadas estejam satisfeitas o processo é dado como finalizado, ou seja, conclui-se que o sistema existente já reúne as condições energeticamente eficientes.

Ao contrário prossegue-se o estudo para determinar a melhor proposta de melhoria, de maneira a tornar o sistema mais eficiente em termos energéticos. Essa proposta de melhoria pode interferir na escolha de lâmpadas, luminárias ou de alteração de circuitos.

Fase 2:

Esta fase da metodologia requer uma reflexão sobre as conclusões alcançadas na fase anterior. Pretende-se, dessa forma, elaborar alternativas credíveis que optimizem os sistemas de iluminação existentes e que se adaptem aos conceitos e à identidade do espaço construído.

Depois de analisada a fase inicial, prossegue-se para uma das alternativas possíveis a modificar. Nesta fase a mudança incide apenas na alteração das lâmpadas mantendo o mesmo casquilho, balastro e luminária das lâmpadas actuais, porque é a proposta que apresenta maior facilidade de substituição e menos custos, tornando esta melhoria energeticamente eficiente e eficaz.

À medida que as novas tecnologias se desenvolvem, é cada vez mais ampla a variedade de fontes luminosas que existem no mercado. Assim sendo, terá de existir um conhecimento mais profundo de todas as características e potencialidades que cada tipo de lâmpada poderá oferecer, pois apenas a aplicação correcta de cada uma delas a cada caso concreto nos permitirá alcançar um projecto de iluminação energeticamente eficiente. Para qualquer que seja o projecto luminotécnico existirá sempre um conjunto de exigências e de condições que as fontes luminosas eleitas para integrar o projecto deverão reunir.

De modo a simplificar a análise das lâmpadas que satisfazem as condições desejadas, utiliza-se uma ferramenta computacional, o *DIALux*. A utilização de ferramentas de simulação para o sistema de iluminação é extremamente importante para auxiliar o projectista no uso eficiente da energia de modo a reduzir custos e proporcionar conforto.

Através da simulação consegue-se identificar quais as lâmpadas que reúnem as condições desejadas e, consequentemente, mais eficientes, de acordo com as características físicas do edifício e respectiva zona. A identificação é feita pelo gráfico dos valores dos níveis de iluminação e pelas linhas isolux, ou seja, as lâmpadas seleccionadas como proposta de melhoria têm de ter os níveis de iluminação de acordo com os valores recomendados na norma UNE 12464 para as diversas tarefas.

Contudo, também é importante uma avaliação económica das lâmpadas para ajudar, caso haja, mais do que uma solução na escolha das lâmpadas eficientes. A avaliação económica consiste nos custos associados a cada tipo de lâmpada, custos de manutenção, no cálculo do consumo de energia, investimento e a quantidade de kg de CO₂ libertada anualmente para cada solução. Com esta informação consegue-se obter um dado relevante para o investimento que é o PRI (Período de Recuperação do Investimento), isto é, quanto tempo leva o novo projecto a ter retorno. Assim, quanto menor for este PRI mais vantajoso se torna o investimento e, naturalmente, apresenta-se a melhor solução e energeticamente mais eficiente.

Com estes dados pode-se posteriormente fazer uma comparação na globalidade do projecto, ou seja, comparar o projecto actual com a proposta de melhoria e ver a poupança que será obter em termos de consumo de energia (kWh), investimento (€) e emissões de CO₂ (kg de CO₂).

Caso não exista lâmpadas que apresentem as especificações desejadas procede-se para outro tipo de substituição, que se encontra na fase seguinte.

Fase 3:

Caso a fase 2 (substituição de lâmpadas) não conduza às condições desejadas o passo seguinte passa pela alteração do conjunto luminárias e lâmpadas. Esta substituição torna-se mais dispendiosa devido à mudança da luminária quando a lâmpada substituta assim o exigir.

Sendo esta substituição muito onerosa, torna-se ambígua, porque esta mudança vai ser superior ao investimento que incide apenas na substituição de lâmpadas, logo a fase anterior vai tornar o investimento mais apelativo, visto ser menos dispendioso e apresentar resultados bastantes eficazes e eficientes.

Contudo, torna-se importante referir que caso a fase anterior não seja viável, este será o caminho a prosseguir, pois pode possuir um investimento inicial dispendioso mas conter um PRI baixo, o que torna o sistema de iluminação eficiente.

Uma luminária tem como funções o controle da distribuição da luz emitida por uma ou mais lâmpadas. A sua escolha é feita de acordo com as necessidades de iluminação do local e poderá contribuir para a eleição de lâmpadas com menor potência. Tendo em conta no momento do sistema de iluminação todas as características das luminárias.

Tendo a ferramenta computacional em conta a realidade existente, como já foi referido na fase 1, e seleccionado os conjuntos luminárias mais lâmpadas, procede-se à simulação destes conjuntos. Verifica-se essa simulação através do gráfico de valores dos níveis de iluminação e as linhas isolux, porém as luminárias e as correspondentes lâmpadas que oferecem as especificações adequadas para a respectiva zona são seleccionadas.

No entanto, é essencial uma avaliação económica destes conjuntos para verificar se o investimento possui um período de retorno favorável. Esta avaliação consiste nos mesmos elementos que a fase anterior, isto é, custos, consumo de energia, quantidade de kg de CO₂ e o PRI. Este último elemento é interessante no ponto vista económico para o investimento, ou seja, para saber quanto tempo demora a ser pago o seu investimento e se é energeticamente eficiente. Desta forma, a avaliação económica facilita a escolha do conjunto mais eficiente em termos energéticos e económicos.

Posteriormente, nesta fase também se pode comparar no global o projecto actual com as propostas de melhoria para averiguar onde pesam as maiores economias. Estas economias podem ser a nível do consumo de energia (kWh), investimento (€) ou emissões de CO₂ (kg de CO₂).

Caso nenhuma opção satisfaça as condições desejadas segue-se para outro tipo de substituição mais sofisticada, que se encontra na última fase.

Fase 4:

Por último, esta fase consiste na reedificação do sistema de iluminação, ou seja, na alteração dos circuitos eléctricos e, conseqüentemente, das luminárias e respectivas lâmpadas. Por vezes, verifica-se o erro da posição das luminárias não corresponder à posição dos armários ou bancadas da zona em estudo. Isto faz com que haja um desperdício de iluminação nos ângulos em que não são exigidos níveis de iluminação tão elevados.

Contudo, esta é a fase que se apresenta mais dispendiosa, porque baseia-se em refazer de novo o projecto, isto é, estudar a melhor forma de concordância da posição das luminárias com a disposição do mobiliário a ser iluminado, seleccionar as lâmpadas mais eficientes e por sua vez escolher as respectivas lâmpadas. Por isso, esta alternativa torna-se a menos útil para o projectista sendo muitas vezes ignorada mediante estes, por traduzir-se num investimento elevado. Mas, não deve-se descartar esta fase porque apesar de ser dispendiosa, em termos energéticos e ambientais pode-se apresentar como uma óptima alternativa energeticamente eficiente.

Em relação à simulação, este processo procede-se da mesma forma que as fases anteriores, isto é, tendo em conta a disposição do mobiliário e o estudo da posição mais eficaz dos circuitos eléctricos, luminárias e respectivas lâmpadas segue-se a simulação das novas análises de projecto. Na simulação, é dado o gráfico de valores dos níveis de iluminação e as linhas isolux, porém do novo sistema de

iluminação são seleccionados os conjuntos que apresentam as condições desejadas para a zona em questão.

Como já foi mencionado, é fundamental fazer uma avaliação económica (custos, consumo de energia, quantidade de kg de CO₂ e o PRI) destes novos conjuntos para verificar se o novo sistema de iluminação compensa esse investimento. O PRI torna-se vantajoso para o investimento quando apresenta um período baixo.

Assim, com estes dados pode-se concluir as economias efectuadas através de uma comparação global do sistema actual com o novo sistema implementado. Esta comparação desenrola-se a nível do consumo de energia (kWh), investimento (€) ou emissões de CO₂ (kg de CO₂).

Caso não haja nenhuma escolha que abrange as especificações conclui-se que para esta zona não existe solução energeticamente eficiente.

Estas são as fases que um estudo de sistemas de iluminação deve seguir, tendo em conta que cada zona possui as suas especificações e características.

4.2.3. Análise de custos

Para identificar os benefícios económicos de um sistema de iluminação energeticamente eficiente devem ser considerados os *custos de substituição*, *custos de exploração* e os *custos de manutenção*. O custo de substituição engloba todos os aspectos necessários para colocar o sistema de iluminação energeticamente eficiente, por exemplo, custos de lâmpadas, luminárias e instalação. Custos de manutenção são aqueles que mantêm o sistema em funcionamento, incluem os custos de energia, limpeza, reposição de lâmpadas e balastros e manutenção adequada de todos os equipamentos. O peso da factura energética nos custos de exploração numa empresa do sector industrial é habitualmente baixo, quando comparado com o peso de outros factores de produção, nomeadamente mão-de-obra e matéria-prima.

Em termos económicos o objectivo geral é minimizar os custos de manutenção para permitir que o dinheiro economizado equilibre os gastos iniciais, que se têm na escolha de um sistema de iluminação. O tempo total para que ocorra este equilíbrio é expresso através do período de retorno [35].

Diante da dúvida de se fazer um investimento ou não, é necessário a presença de indicadores que apoiem uma decisão. Para se seleccionar os projectos de investimento utilizam-se modelos de análise de viabilidade económica, de modo a possuir um agente de decisão sobre se deve investir ou não em determinados projectos e no caso de haver mais do que uma opção, saber qual escolher.

Como indicadores de investimento distinguem-se o Valor Actual Líquido (VAL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Período de Recuperação do Investimento (PRI) [36].

➤ **Valor Actual Líquido (VAL)**

O Valor Actual Líquido é um critério financeiro dirigido a fazer uma avaliação do investimento através da comparação entre os *cash flows* gerados por um projecto e o capital investido. O VAL é a diferença entre as entradas e as saídas de capital, geralmente chamados de fluxos monetários, devidamente actualizados durante a vida útil do empreendimento [36].

Para efectuar o cálculo do VAL transportam-se todos os fluxos de caixa anuais para uma data no presente, o que corresponde a calcular a quanto equivaleriam estes mesmos fluxos no instante $n=0$. O VAL é descrito na equação (4.5):

$$VAL = \sum_{j=1}^n \frac{R_{Lj}}{(1+a)^j} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+a)^j} + \frac{V_R}{(1+a)^n} \quad (4.5)$$

Onde:

n - vida útil do projecto;

R_{Lj} - receita líquida do ano j ;

I_j - investimento total actualizado para o ano 0;

a - taxa de actualização;

V_R - valor residual do projecto.

Considera-se agradável o projecto que possui um VAL maior ou igual a zero [35].

A utilização do VAL tem as suas vantagens e inconvenientes. Este método tem como vantagem, conhecida a taxa de actualização, a facilidade de cálculo. Como inconveniente tem, uma vez que o VAL é muito sensível à taxa de actualização, a determinação segura da taxa de actualização mais apropriada [36].

➤ **Taxa Interna de Retorno (TIR)**

Este indicador consiste em calcular a taxa de actualização necessária para igualar o valor de um investimento (valor actual) com os seus respectivos retornos futuros ou saldos de caixa. Os investimentos com taxa interna de retorno maiores que a taxa mínima de actividade (TMA) são

considerados rentáveis e são possíveis de análise. A taxa mínima de actividade (TMA) representa a taxa a partir da qual o investidor considera que terá lucros [35].

O TIR está representado na equação (4.6), para ser obtido é necessário resolver a equação $VAL=0$ em ordem à taxa de actualização [36].

$$VAL = \sum_{j=1}^n \frac{R_{Lj}}{(1+a)^j} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{I_j}{(1+a)^j} + \frac{V_R}{(1+a)^n} = 0 \quad (4.6)$$

O TIR tal como o VAL dependem do valor do dinheiro no tempo, dando mais valor aos cash flows actuais em relação aos cash flows futuros. Um projecto é tanto mais interessante quanto mais elevada for a TIR [36].

➤ Período de Recuperação do Investimento (PRI)

O Período de Recuperação do Investimento (PRI) é o período de tempo necessário até à recuperação do capital investido, isto é, o período necessário de funcionamento do projecto para que o somatório dos fluxos de despesas e receitas igualem as despesas de investimento. Um projecto de investimento é tanto mais interessante quanto menor for o PRI.

Este indicador permite verificar se o tempo de recuperação é inferior ou não ao tempo de vida útil do projecto, permitindo igualmente verificar se o projecto dará lucro ou não. Para calcular o valor do PRI é necessário encontrar o valor de n que vai tornar o $VAL = 0$.

A equação (4.7) representa o PRI [36]:

$$PRI = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1+a)^j}}{\frac{1}{n} \times \left(\sum_{j=1}^n \frac{R_{Lj}}{(1+a)^j} + \frac{V_R}{(1+a)^n} \right)} \quad (4.7)$$

Para esta análise, o preço das luminárias, lâmpadas e balastros têm necessariamente de ser conhecidos, bem como o custo de reposição de equipamentos, de manutenção e da mão-de-obra [35].

A utilização deste critério tem vantagens e inconvenientes. Este critério tem a vantagem de ser fácil de calcular, além de, à partida poder eliminar projectos que não satisfazem os objectivos definidos de acordo com os montantes disponíveis para investir. Tem como inconvenientes, como, por exemplo, não ter em conta o que se passa para além do prazo de recuperação dos capitais investidos.

Assim, o indicador escolhido para analisar a vertente económica é o **Período de Recuperação do Investimento (PRI)** que é expresso em anos.

4.3. Conclusões

Num sistema de iluminação energeticamente eficiente, há que ter em conta vários parâmetros, destacando: os níveis de iluminação, a eficiência dos equipamentos, o tipo de controlo e o contributo da iluminação natural. Porém, de nada servem estes parâmetros se não se estudar a viabilidade económica do projecto. Além do investimento inicial, é essencial prever os consumos diários, mensais e anuais, o tempo de vida útil das tecnologias aplicadas e consequentemente estudar a viabilidade económica do projecto, apresentando alternativas económicas viáveis. Só assim se poderá saber efectivamente quais os equipamentos a investir, de modo os sistemas de iluminação serem energeticamente eficientes ao longo da sua vida útil.

CAPÍTULO 5 – CASO DE ESTUDO

De modo a proceder ao estudo do sistema de iluminação do Pingo Doce de Famões, é efectuada uma caracterização e uma análise individual dos sistemas de iluminação artificial nas zonas de estudo. Seguidamente são apresentadas e comparadas soluções energeticamente eficientes a implementar no sistema de iluminação do estudo de caso.

5.1. Selecção do estudo de caso

O estudo de caso incide sobre os supermercados, porque estes apresentam um interessante sistema de iluminação devido às diversas especificações exigidas pelos sectores e à relação existente entre o consumidor e o produto.

As razões que levaram à escolha da cadeia de Supermercados, Pingo Doce - Distribuição Alimentar S.A., como estudo de caso foram essencialmente duas. Esta cadeia tem um grande potencial ao nível da exploração de sistemas de iluminação e a empresa *Home Energy* - EDP possui uma parceria com o grupo Jerónimo Martins, facilitando a recolha de dados assim como as visitas ao terreno.

A *Home Energy* é uma empresa de certificação energética, do qual o grupo Jerónimo Martins usufrui dos seus serviços. Vistos os sistemas de iluminação terem um peso significativo na factura, surge a necessidade de estudar sistemas de iluminação energeticamente eficientes. Assim, o papel desta empresa na presente dissertação inseriu-se no âmbito da proposta do tema e da disponibilidade e recolha de dados.

Na vasta diversidade desta cadeia, foi escolhido o Pingo Doce de Famões. Este tipo de edifício é suficientemente rico a nível de sistemas de iluminação, mas simples e práticos para reconstrução tridimensional, necessários para esta investigação.

Trata-se de edifícios de serviços localizados na periferia de uma zona urbana com a tipologia de supermercado, como já foi referido anteriormente. O edifício é constituído por zona de vendas, zona de atendimento do talho, peixaria, café e bolos, charcutaria, e respectivas zonas de refrigeração, vestiários/balneários, instalações sanitárias, zonas de circulação, zona de abastecimento, armazém, posto de transformação, tesouraria, sala técnica de compressores, cafetaria, padaria, sala informática, sala de segurança e sala de quadros eléctricos. Este supermercado é considerado um prédio com propriedade total sem andares nem divisões susceptíveis de utilizador independente.

O presente estudo foca apenas as zonas em que a iluminação entra em contacto directo com o cliente, ou seja, são zonas onde existe a relação entre o consumidor e empresa, como já foi referido no

Capítulo 3. Para uma análise pretende-se avaliar espaços de trabalho com uma ligação com o cliente, com diferentes funções, para a verificação do conforto e adequação às exigências funcionais e aos valores recomendados.

5.2. Descrição dos espaços em estudo

5.2.1 Caso de Estudo – Pingo Doce de Famões

Antes de entrarmos propriamente nas fases da metodologia deve-se fazer um estudo prévio sobre as principais características luminotécnicas nas diversas zonas de estudo.

O Pingo Doce de Famões situa-se em Odivelas - Lisboa. Trata-se de um edifício cuja data de construção é 2007, apresentando uma construção tipo urbano com uma área total de 1203,3 m². A planta deste edifício encontra-se no Anexo III.

Este edifício apresenta vegetação ao seu redor na fachada Este e Oeste do edifício, tal como se pode observar nas fotografias apresentadas nas figuras 5.1 e 5.2.



Figura 5.1 – Fachada Norte.



Figura 5.2 – Vista área do Pingo Doce de Famões.

Trata-se de um edifício amplo sem janelas, o que não favorece a entrada da luz natural. O seu maior gasto energético situa-se no período de trabalho, que se situa entre as 9:00h e as 21:00 horas. Os estudos realizados neste edifício focam as áreas identificadas na figura 5.3, ou seja, correspondentes à zona de directo contacto com o cliente.

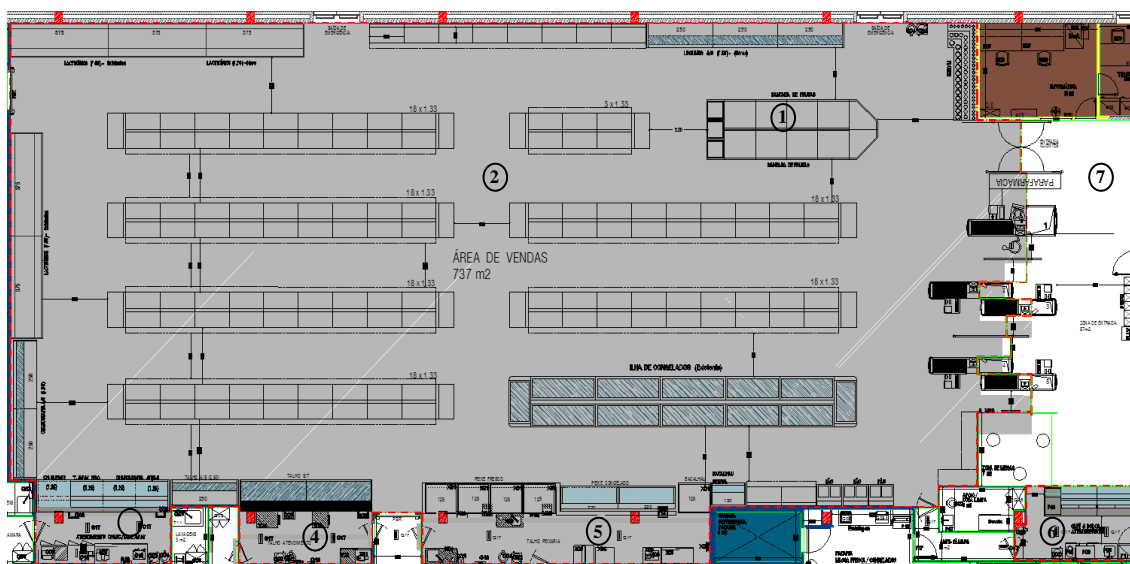


Figura 5.3 – Planta esquemática do edifício. 1- Zona de Frutas e Legumes; 2- Zona de Vendas; 3- Zona da Charcutaria; 4- Zona do Talho; 5- Zona da Peixaria; 6- Zona de Café e Bolos; 7- Zona de Caixas.

A caracterização do sistema de iluminação artificial envolve o levantamento dos equipamentos instalados, a medição e a avaliação dos níveis de iluminação. Durante as várias visitas foram observadas as características físicas dos locais de trabalho e do sistema de iluminação. A análise da iluminação não se restringiu a observar o tipo de lâmpada e sua potência. Observou-se, também, o tipo de luminária, o pé direito e a iluminância existentes.

Durante as visitas técnicas constatou-se que o sistema de iluminação do edifício é composto na sua maioria por lâmpadas fluorescentes tubulares de marca *Philips*, de 80W e 58W e por lâmpadas iodetos metálicos de marca *Osram* de 70W. Na Zona de Vendas e de Caixas existe um conjunto de sistemas de iluminação, *Philips TBS316 1 x TL5-80W HFP C6* e nas restantes zonas encontram-se *Philips MB S262 1 x CDM-T70W EB12* ou da marca *Osram* de características técnicas homólogas, *Osram POWERSTAR HQI-TS 70W/NDL EXCELLENCE* e *Philips TBS105 1 x TLD-58W HFP A*.

Em relação aos balastros verificam-se que são todos electrónicos, mas devido à sua localização torna-se difícil identificá-los, pelo que a sua potência não foi tida em conta, considerando apenas a potência que a lâmpada consome. As principais características luminotécnicas do sistema de iluminação artificial do Pingo Doce de Famões estão apresentadas na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Características do Sistema de Iluminação do Pingo Doce de Famões.

Zonas	Pé direito (m)	Iluminância (Lux)	Tipo de Lâmpada	Quantidade Total	Pot.lâmpada (W)	Potência Total (W)	Densidade Iluminação (W/m2)	Σ Densidades (W/m2)
Zona Caixas	3,3	638	Fluorescente Tubular	23	80	1840,0	28,8	28,8
Zona Peixaria	2,3	915	Iodetos Metálicos	12	70	840,0	24,6	36,4
			Fluorescente Tubular	7	58	406,0	11,9	
Zona Frutas e Legumes	3,3	2106	Iodetos Metálicos	6	70	420,0	30,4	30,4
Zona Charcutaria	2,3	751	Iodetos Metálicos	7	70	490,0	30,6	41,5
			Fluorescente Tubular	3	58	174,0	10,9	
Zona Talho	2,3	876	Iodetos Metálicos	7	70	490,0	30,8	41,8
			Fluorescente Tubular	3	58	174,0	10,9	
Zona Café&Bolos	2,3	987	Iodetos Metálicos	9	70	630,0	44,1	60,3
			Fluorescente Tubular	4	58	232,0	16,2	
Zona Vendas	3,3	622	Fluorescente Tubular	154	80	12320,0	19,2	19,3
			Iodetos Metálicos	1	70	70,0	0,1	
Total				236	812	18086,0		

Atendendo à potência instalada em cada zona e tendo em conta que cada local de trabalho está dependente do sistema de iluminação artificial aproximadamente 4356 horas anuais, fez-se uma estimativa da energia gasta no sistema de iluminação para toda a área em estudo. Os resultados podem ser observados na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Custo energético do Sistema de Iluminação do Pingo Doce de Famões.

Zonas	Potência Total Instalada (W)	Consumo Anual (kWh)	Consumo Anual por Zonas (kWh)	Custo Total (€)
Zona Caixas	1840,0	8015,0	8015,0	801,5
Zona Peixaria	840,0	3659,0	5427,5	542,8
	406,0	1768,5		
Zona Frutas e Legumes	420,0	1829,5	1829,5	183,0
Zona Charcutaria	490,0	2134,4	2892,3	289,2
	174,0	757,9		
Zona Talho	490,0	2134,4	2892,3	289,2
	174,0	757,9		
Zona Café&Bolos	630,0	2744,3	3754,9	375,5
	232,0	1010,6		
Zona Vendas	12320,0	53665,9	53970,8	5397,1
	70,0	304,9		
Total	18086,0	165442,8	78782,3	7878,2

A estimativa do consumo anual e, por consequente do custo total, foi efectuada com base em 363 dias úteis por ano e 4356 horas anuais de funcionamento. Em relação ao custo do kWh (0,1€) foi feito uma média ponderada de acordo com o regime contratado do edifício.

Os resultados obtidos revelam que o sistema de iluminação encontra-se sobredimensionado, visto que os valores médios da iluminância das respectivas zonas encontram-se excessivamente elevados tendo em conta o valor recomendado na norma UNE 12464 (300-500 lux).

5.2.2 Análise Individual do sistema de iluminação nas zonas de estudo

Com a caracterização individual dos tipos de zonas que apresentam maior interesse iniciamos a **Fase 1** da metodologia desenvolvida no Capítulo 4.

O sistema de iluminação do edifício foi simulado utilizando o *software DIALux* [37]. Esta ferramenta computacional permite realizar estudos luminotécnicos e simulação das condições de luminosidade existentes no interior do edifício, permitindo calcular com precisão a forma como a luz se distribui no ambiente, produzindo cenários realistas e valores médios de iluminâncias. A simulação do sistema de iluminação teve em conta a realidade existente, incluindo o mobiliário e outros objectos, visto que a sua disposição condiciona os níveis de iluminação da área de trabalho. A figura 5.4 mostra um esboço da parte exterior do Pingo Doce de Famões, enquanto a figura 5.5 representa a planta esquemática das zonas de maior interesse para este estudo, desenvolvidas ambas no *DIALux*.



Figura 5.4 – Esboço exterior do Pingo Doce de Famões.

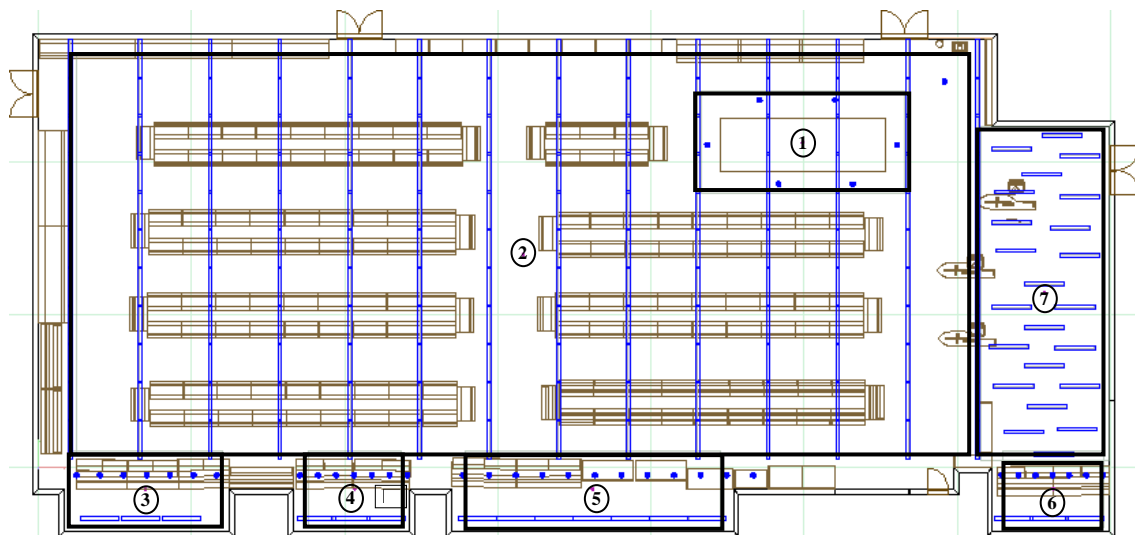


Figura 5.5 – Planta esquemática das zonas em estudo desenvolvida no DIALux. **1-** Zona de Frutas e Legumes; **2-** Zona de Vendas; **3-** Zona da Charcutaria; **4-** Zona do Talho; **5-** Zona da Peixaria; **6-** Zona de Café&Bolos; **7-** Zona de Caixas.

Nas subsecções seguintes é apresentada uma caracterização individualizada de cada uma das zonas.

No entanto, por questões de repetição e de dimensão da dissertação, apenas foi explicado uma zona deste edifício porque as restantes são estudadas da mesma forma e encontram-se anexadas.

Zona de Vendas:

Esta zona com uma área aproximadamente de 640m² destina-se, principalmente, à circulação dos clientes em que a iluminação é um dos meios mais eficientes de exibir e valorizar a mercadoria para os consumidores.

Após escolhido o tipo de zona a estudar, realizámos uma visita ao caso de estudo de modo a efectuar uma medição real dos níveis de iluminação pelas diversas zonas. Como já foi referido no Capítulo 3, a iluminância não é distribuída uniformemente, logo é designado 4 pontos de referência para cada zona em questão. Então, foi efectuado uma medição real dos níveis de iluminação pelas diversas zonas com o auxílio de um luxímetro. Após a medição, considera-se uma iluminância média por cada tipo de zona (tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Níveis de iluminação reais por tipo de zona.

Tipo de Zona	E_m (lx)	E_{\min} (lx)	E_{\max} (lx)
Vendas	622	33	767
Peixaria	989	99	1023
Talho	895	95	999
Café&Bolos	871	86	935
Charcutaria	715	79	840
Caixas	608	39	753
Frutas e Legumes	2008	73	2571

Com estes níveis de iluminação reais suscita a necessidade de verificar se os valores simulados são idênticos aos da tabela 5.3. Utilizando a ferramenta computacional *DIALux* foram determinadas os níveis de iluminação para as diferentes zonas. Os resultados encontram-se resumidos na seguinte tabela e no Anexo IV.

Tabela 5.4 – Níveis de iluminação determinados pelo *DIALux* por tipo de zona.

Tipo de Zona	E_m (lx)	E_{\min} (lx)	E_{\max} (lx)
Vendas	450	27	2164
Peixaria	705	44	4593
Talho	712	54	2713
Café&Bolos	715	79	4744
Charcutaria	664	98	1332
Caixas	538	39	785
Frutas e Legumes	324	1,05	13534

Nesta zona o plano de trabalho corresponde a toda a área de circulação que possui uma iluminância média através da simulação de 450 lux, enquanto o real médio corresponde a 622 lux.

No entanto, verifica-se que não é só a Zona de Vendas que tem os níveis de iluminação obtidos por simulação no *DIALux* diferentes do real, mas também as restantes zonas consideradas relevantes. Esta diferença pode ser explicada pela falta de eficácia do luxímetro visto este não fixar um valor constante e a iluminância não ter uma distribuição uniforme, ou então, da medição real ser feita com todos os sistemas de iluminação ligados e não isolados de zona a zona, enquanto a simulação é feita apenas para os sistemas de iluminação de destaque da zona.

Assim, tornou-se interessante fazer uma simulação com os sistemas de iluminação ligados nas várias zonas em estudo e não separados uns dos outros. A simulação evidenciou que apesar de haver uma diferença entre os resultados reais e simulados, que a discrepância não advém desta justificação. Isto constatou-se, porque a simulação apresentou aproximadamente os mesmos resultados do que a tabela 5.4, certificando que a iluminação circundante não interfere directamente nos resultados dos

níveis de iluminação das zonas em estudo à exceção da Zona de Vendas e da Zona de Frutas e Legumes, sendo esta exclusão desenvolvida mais à frente neste capítulo.

A Zona de Frutas e Legumes está naturalmente inserida na Zona de Vendas, mas devido às suas características e importância foi designado como uma zona de alta relevância. Na figura 5.6 é apresentada uma visão tridimensional da Zona de Vendas e na figura 5.7 a planta da disposição física do mobiliário. O sistema de iluminação artificial é constituído por 2 circuitos independentes no qual estão inseridas 155 luminárias.

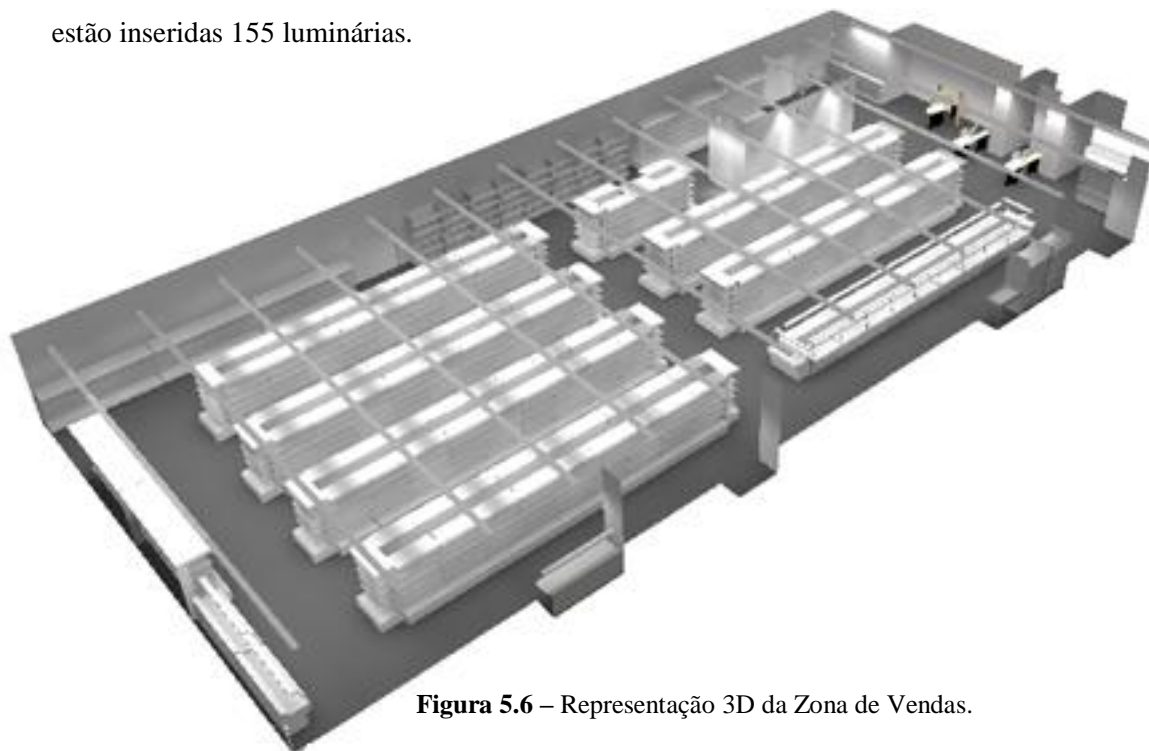


Figura 5.6 – Representação 3D da Zona de Vendas.

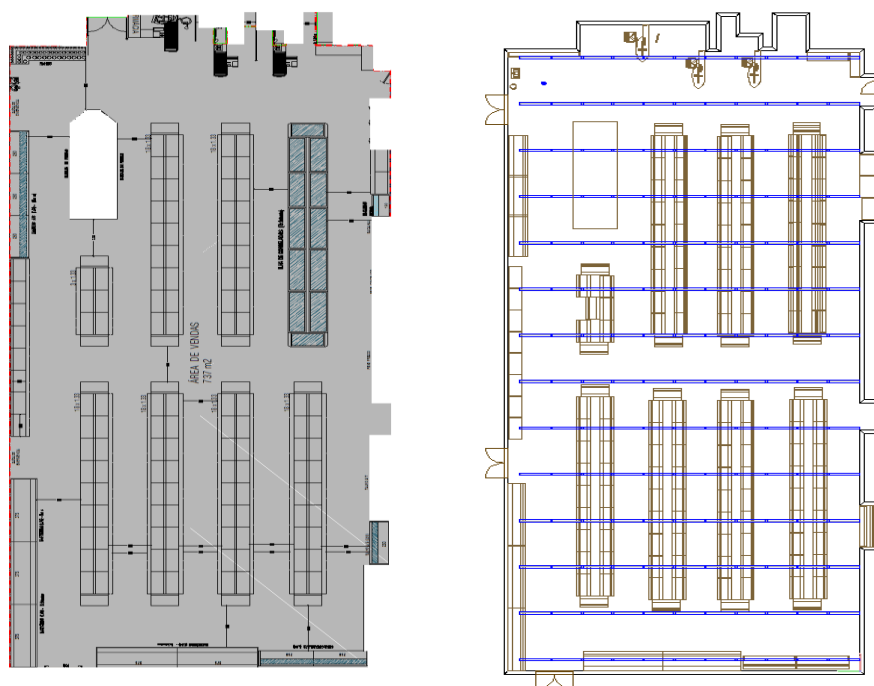
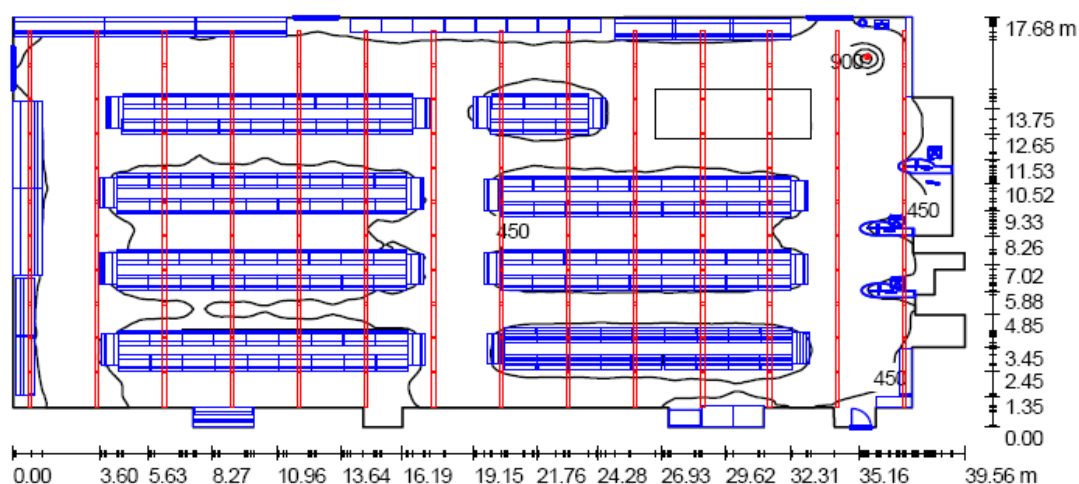


Figura 5.7 – Planta geral plano X-Y da Zona de Vendas.



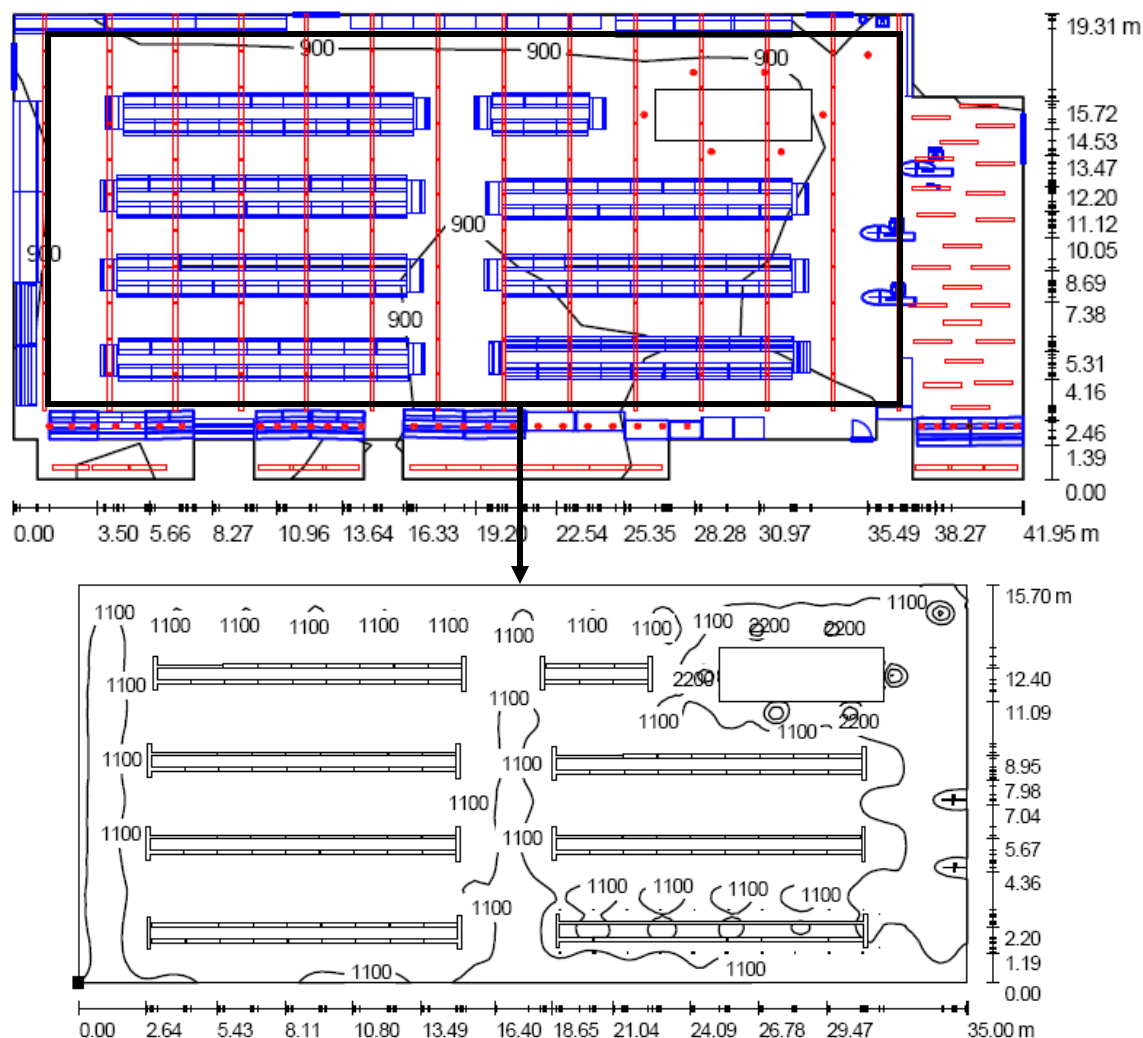


Figura 5.10 – Linhas isolux da Zona de Vendas com a influência da iluminação total.

A figura 5.10 mostra os níveis de iluminação derivados da Zona de Vendas com a influência da iluminação da Zona de Frutas e Legumes em que os valores obtidos são: $E_m=876 \text{ lx}$; $E_{\min}=100 \text{ lx}$; $E_{\max}=5505 \text{ lx}$.

Através da análise das linhas isolux de iluminação apresentadas na figura 5.10, pode verificar-se que os níveis de iluminação da Zona de Vendas encontram-se acima do limite recomendado na norma UNE 12464 (300-500 lux). Por outro lado, verifica-se uma certa uniformidade dos níveis de iluminação na Zona de Vendas.

Também a Zona de Frutas e Legumes apresenta uma discrepância nos resultados, porque na simulação individual apenas entra as lâmpadas direccionadas para a zona enquanto a simulação global inclui também as lâmpadas da zona de vendas, logo aumenta os níveis de iluminação, como podemos observar na figura 5.11.

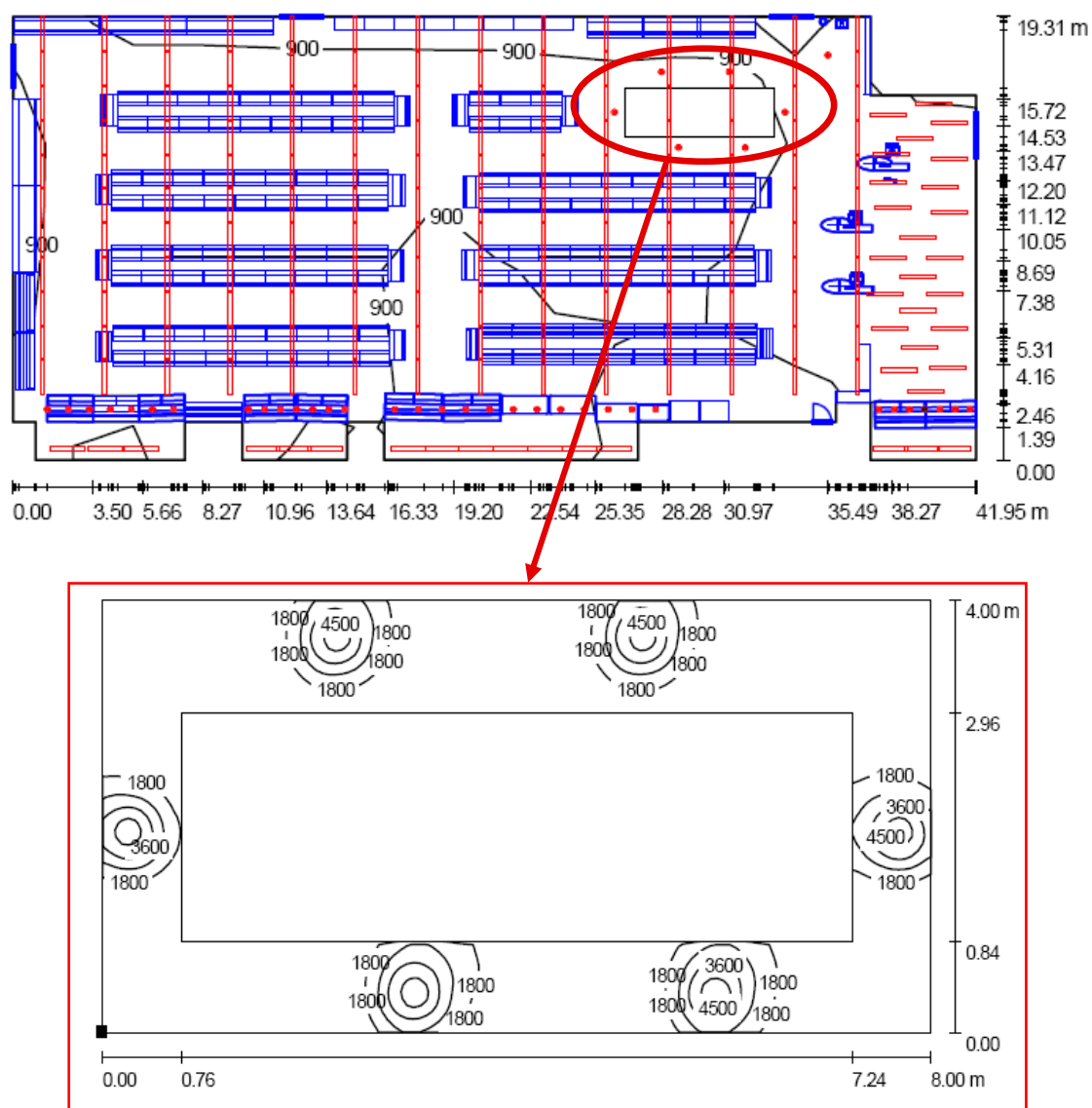


Figura 5.11 – Linhas isolux dos níveis de iluminação para a Zona de Fruta e Legumes dependentes dos restantes sistemas de iluminação.

O gráfico apresentado na figura 5.11 mostra os níveis de iluminação obtidos na Zona de Frutas e Legumes com a iluminação total em que os valores obtidos são: $E_m=1699 \text{ lx}$; $E_{\min}= 989 \text{ lx}$; $E_{\max}=5239 \text{ lx}$. Porém, com estes valores verifica-se que os níveis de iluminação da Zona de Frutas e Legumes também estão acima do limite recomendado na norma UNE 12464 (300-500 lux).

O valor médio de iluminância constitui um dado relevante na avaliação da qualidade do sistema de iluminação. No entanto, o conhecimento dos valores mínimo e máximo permite averiguar a homogeneidade do nível de iluminação.

Contudo, é importante ter uma visão global dos níveis de iluminação das respectivas zonas consideradas relevantes no estudo, para concluir se o sistema de iluminação do edifício se encontra sobredimensionado.

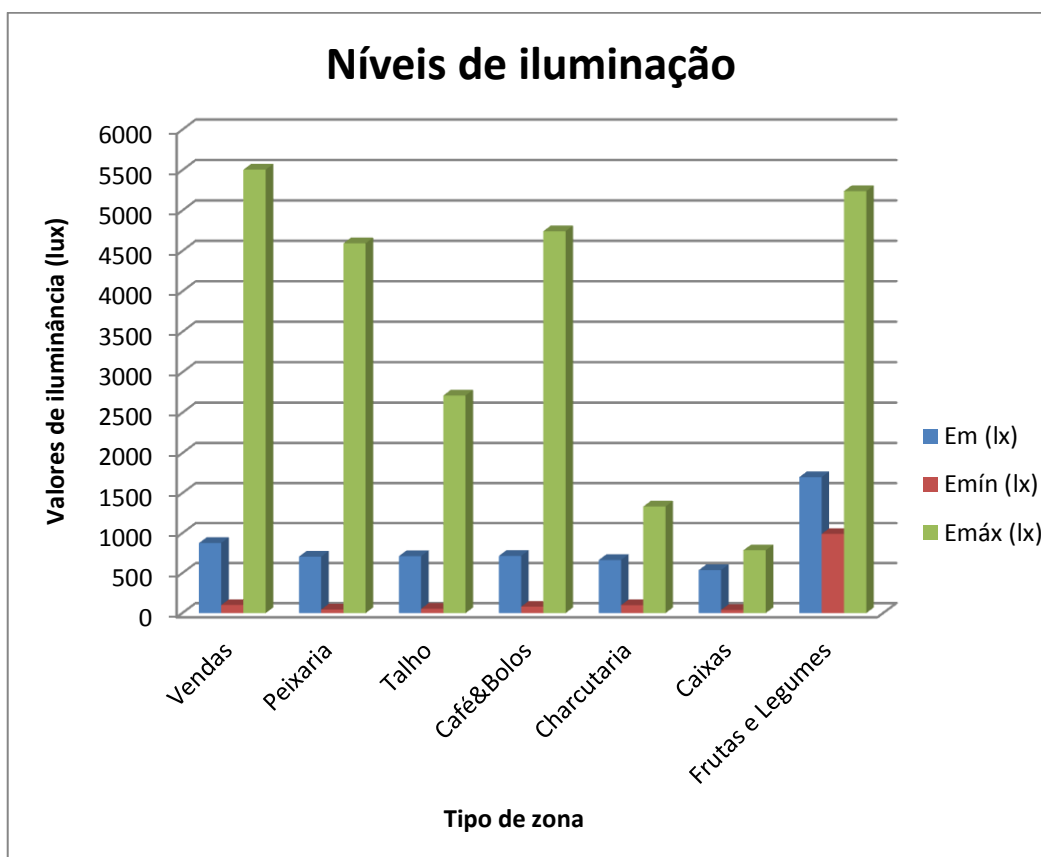


Figura 5.12 – Níveis de iluminação médio, máximo e mínimo para os diversos tipos de zona.

A análise do gráfico apresentado na figura 5.12 permite verificar que o sistema de iluminação se encontra sobredimensionado em todas as zonas e que existe uma grande variação entre os limites mínimo e máximo do nível de iluminação, que se traduz na existência de reflexos.

Sabendo que o sistema se encontra sobredimensionado, também é importante analisar o edifício no todo, em termos de potência total utilizada em sistemas de iluminação. Assim, estão apresentados na tabela 5.5 o tipo de lâmpadas existentes neste edifício assim como a potência e quantidade usadas.

Tabela 5.5 – Potência total utilizada nos sistemas de iluminação existentes no edifício.

POTÊNCIA TOTAL EXISTENTE NO EDIFÍCIO			
Tipo de Lâmpada	Potência total (kW)	% Potência Total	Nº Unidades
Fluorescente (80W)	14,16	78%	177
Fluorescente (58W)	0,99	6%	17
Iodetos Metálicos (70W)	2,94	16%	42

Total	18,09	100%	236
--------------	--------------	-------------	------------

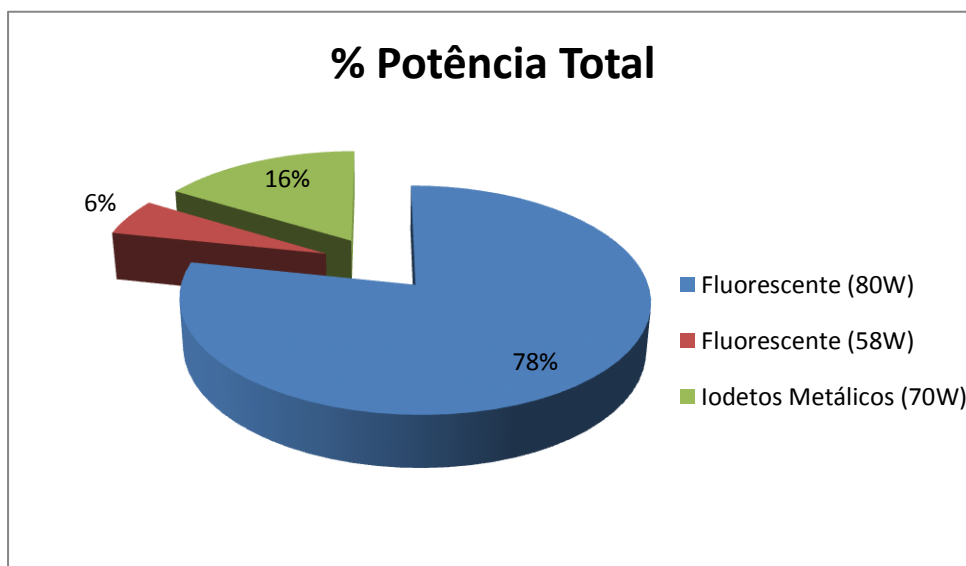


Figura 5.13 – Percentagem da Potência Total no edifício.

Através da análise do gráfico da figura 5.13, verificamos que as zonas em estudo possuem uma potência total de 18,09 kW, indicando um excesso de potência instalada, daí ser interessante apresentar soluções energeticamente eficientes de modo a diminuir este consumo e tornar este sistema de iluminação mais “amigo do ambiente”.

5.2.3 Apresentação de soluções energeticamente eficientes

A **Fase 2** da metodologia requer uma reflexão sobre as conclusões alcançadas na análise das simulações efectuadas. Pretende-se, dessa forma, elaborar alternativas credíveis que otimizem os sistemas de iluminação existentes e que se adaptem aos conceitos e à identidade do espaço construído.

Após um longo estudo, as escolhas de substituição incidiram em três tipos de lâmpadas. As primeiras recaem nas Zonas de Vendas e Caixas. As lâmpadas destas zonas são as PHILIPS MASTER TL5 HO 80W/840 G5 e a opção de substituição são as LUMILUX HO 73W/840 ES G5, pois apresentam o mesmo fluxo luminoso, temperatura de cor e IRC, com menos potência do que as iniciais, tornando-se uma escolha energeticamente eficiente.

As lâmpadas utilizadas nas Zonas de Talho, Peixaria, Charcutaria e Café&Bolos são as mesmas, designadamente as OSRAM HQI T 70W NDL UVS G12 e as PHILIPS MASTER TLD 58W/840 G13. As primeiras podem ser substituídas pelas MASTERCOLOUR ELITE PLUS CDM-T 35W G12, porque além de satisfazer as condições desejadas possuem um maior IRC utilizando a metade da

potência. Enquanto as outras podem ser trocadas pela PHILIPS MASTER TLD ECO 51W/840 G13, por estas satisfazerem as condições pretendidas com menos potência.

Tal como referido anteriormente, esta solução consiste em substituir as lâmpadas existentes por outras mais eficientes. Para tal foram consideradas as lâmpadas da família *LUMILUX HO 73W*, *MASTERCOLOUR ELITE PLUS CDM-T 35W* e *TL-D Eco 51W*.

Como verificámos, os níveis de iluminação não estão de acordo com o recomendado na norma UNE 12464, mas caso obtivesse algum caso de acordo com a norma não deixaria de ser relevante estudar lâmpadas mais eficientes para esta zona, produzindo os mesmos níveis de iluminação de modo a ser mais eficiente.

No entanto, como já foi referido anteriormente, devido à extensão da dissertação apenas foi exemplificado uma zona sendo as restantes estudadas da mesma forma.

A Zona de Vendas é um exemplo das que contêm os níveis de iluminação fora dos limites, mas através da simulação da nova proposta de melhoria (figura 5.14), verificamos que apresentam as condições desejadas com sistemas de iluminação energeticamente mais eficientes.

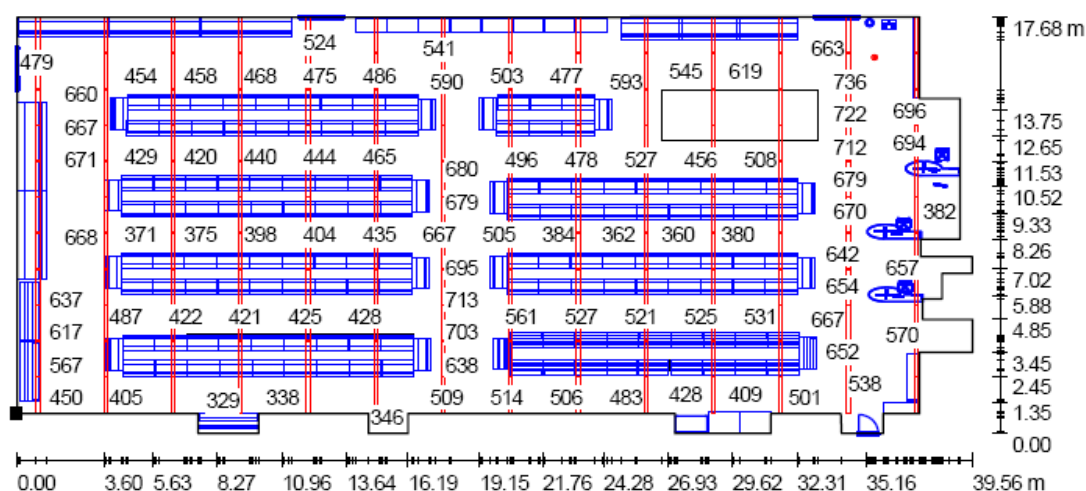


Figura 5.14 – Gráfico de valores dos níveis de iluminação da Zona de Vendas com a proposta de melhoria.

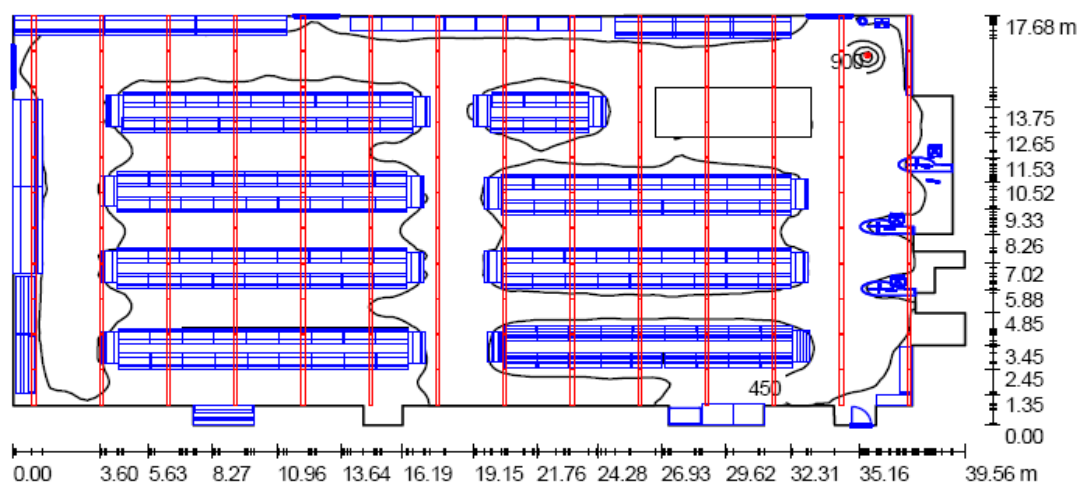


Figura 5.15 – Linhas isolux da proposta de melhoria para a Zona de Vendas.

Apresentadas as soluções para as várias zonas em estudo, procede-se à verificação dos níveis de iluminação de modo a oferecer os valores desejados às diversas tarefas a executar. Estes níveis foram determinados utilizando o *DIALux* para todas as zonas referidas anteriormente, excepto a Zona de Frutas e Legumes porque é a única zona que não apresenta uma proposta de melhoria pelas razões explicadas mais adiante. Os resultados das restantes zonas com as respectivas soluções encontram-se resumidos na tabela 5.6 e no Anexo VI.

Tabela 5.6 – Níveis de iluminação das soluções de melhoria determinados pelo DIALux.

Tipo de Zona	E_m (lx)	$E_{mín}$ (lx)	$E_{máx}$ (lx)
Vendas	464	27	2164
Peixaria	469	29	2344
Talho	497	54	2713
Café&Bolos	484	54	2728
Charcutaria	481	56	859
Caixas	422	30	615

O gráfico apresentado na figura 5.16 mostra os níveis de iluminação apresentados na tabela 5.6.

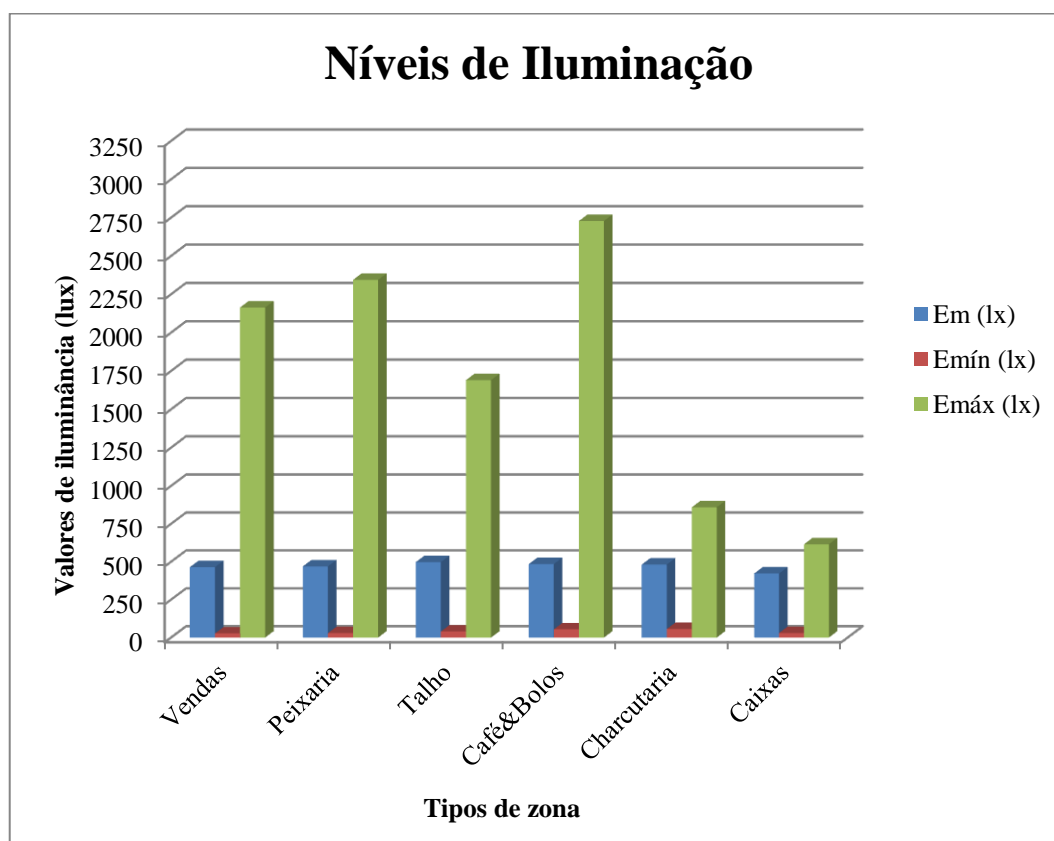


Figura 5.16 – Níveis de iluminação médio, máximo e mínimo para os diversos tipos de zona.

A análise do gráfico apresentado na figura 5.16 permite verificar que o sistema de iluminação se encontra entre os valores recomendados na norma UNE 12464 para as diversas tarefas (300 a 500 lux), mas continua a existir uma grande variação entre os limites mínimos e máximo do nível de iluminação. Este facto poderia ser reduzido se mexesse nas luminárias ou mesmo na localização delas, mas não é economicamente viável.

Depois de analisados os níveis de iluminação e após a verificação das condições desejadas com apenas a mudança de lâmpadas, procedemos a um estudo em termos económicos. Este estudo encontra-se mais pormenorizado no Anexo VII.

A tabela 5.7 apresenta soluções expostas na secção anterior, onde foi calculado o consumo de energia, investimento e a quantidade de kg de CO₂ libertada anualmente para cada solução.

Tabela 5.7 – Estudo efectuado ao nível de emissões de CO₂, consumo de energia e investimento.

	MASTER TL5 HO 80W	LUMILUX H0 73W	Diferença
Emissões de Co₂ (kg de CO₂)	25906,0	23639,2	2266,8
Consumo energia (kWh)	61681,0	56283,9	5397,1
Investimento (€)	-	5864,4	-5864,4
	OSRAM HQI T 70W	MASTERCOLOR CDM-T 35W	Diferença
Emissões de Co₂ (kg de CO₂)	4226,2	2113,1	2113,1
Consumo energia (kWh)	10062,4	5031,2	5031,2
Investimento (€)	-	980,5	-980,5
	MASTER TLD 58W	MASTER TLD ECO 51W	Diferença
Emissões de Co₂ (kg de CO₂)	1803,9	1586,2	217,7
Consumo energia (kWh)	4295,0	3776,7	518,3
Investimento (€)	-	400,4	-400,4

Através da tabela anterior foi criado os seguintes gráficos de modo a apresentar uma comparação de custos por cada solução proposta em relação às lâmpadas actuais.

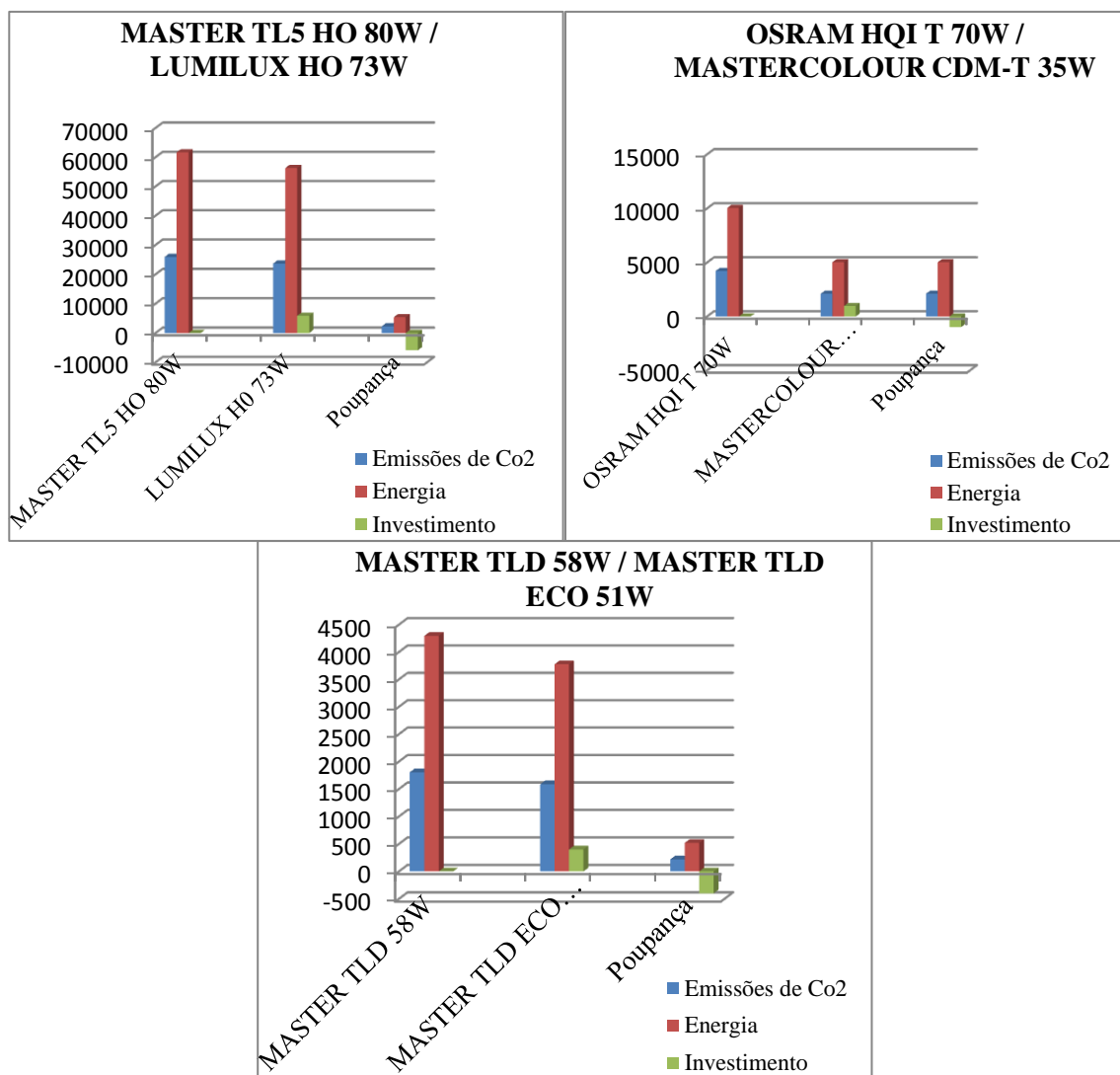


Figura 5.17 – Representação gráfica da poupança das lâmpadas actuais em comparação com as soluções apresentadas.

Segundo esta análise gráfica conclui-se que todas as soluções propostas apresentam uma minimização nos sectores (Emissões de CO₂ e Energia) em comparação com os actuais sistemas de iluminação. Contudo, existe um investimento na implementação das novas propostas, mas verifica-se através da tabela 5.7 que os investimentos são compensatórios em relação aos lucros obtidos pela minimização dos restantes sectores. Logo, este estudo revela-se uma mais-valia em termos de eficiência energética e ambiental, apresentando-se como um investimento favorável.

Os custos associados a cada tipo de lâmpada estão apresentados na tabela 5.8, excepto os custos de manutenção, porque a vida útil das propostas de melhoria são semelhantes aos dos sistemas de iluminação existentes, logo estes custos não são relevantes para o estudo económico. Convém referir que o custo associado à energia consumida anualmente foi calculado com base num período de utilização diária de 12h e que o preço da energia eléctrica (kWh) é considerado 0,1€.

Tabela 5.8 – Informações relevantes para as propostas de melhoria.

Tipo de lâmpadas	Nº de lâmpadas	Custo por lâmpada (€)	Custo total das lâmpadas (€)	Vida útil (anos)	Consumo anual (kWh)	Custo anual de energia consumida (€)	Custo Total (€)	Custo Total + mão-de-obra (€)	TIR (anos)
PHILIPS MASTER TL5 HO 80W/840 G5	177	8,5	1502,2	5	61681,0	6168,1	6468,5	6468,5	-
LUMILUX HO 73W/840 ES G5	177	6,7	1180,0	5	56283,9	5628,4	5864,4	6069,6	3,0
OSRAM HQI T 70W NDL UVS G12	33	32,2	1061,0	2	10062,4	1006,2	1536,7	1536,7	-
MASTERCOLOR ELITE PLUS CDM-T 35W/930 G12	33	28,9	954,7	2	5031,2	503,1	980,5	1029,5	2,0
PHILIPS MASTER TLD 58W/840 G13	17	3,7	62,9	3	4295,0	429,5	450,7	450,7	-
PHILIPS MASTER TLD ECO 51W/840 G13	17	5,4	91,8	4	3776,7	377,7	400,4	420,4	3,0

A lâmpada *LUMILUX HO 73W* consome menos 5397,1 kWh que a lâmpada utilizada actualmente *MASTER TL5 HO 80W*, durante 4356h. A eficiência da lâmpada *LUMILUX HO 73W* provém da sua constituição física, que permite obter a mesma luminosidade que a lâmpada actualmente instalada com menor consumo de energia. A vida útil desta lâmpada é de 5 anos para balastros electrónicos. Por outro lado, esta lâmpada apresenta um IRC acima dos 80% e um fluxo luminoso de 7000 lm. Esta lâmpada é uma alternativa para a Zona de Vendas e de Caixas porque apresenta as condições exigidas por estas zonas, sendo ao mesmo tempo energeticamente mais eficientes.

Outra solução consiste na utilização da lâmpada *MASTERCOLOR ELITE PLUS CDM-T 35W*. Apesar de este tipo de lâmpadas apresentar metade da potência, comparativamente com as lâmpadas instaladas actualmente, a lâmpada *MASTERCOLOR ELITE PLUS CDM-T 35W* apresenta um fluxo luminoso próximo das lâmpadas *OSRAM HQI T 70W*, mas em termos de consumo representa metade do consumo de energia. A eficiência deste tipo de lâmpada advém da sua estrutura muito compacta e leve, que melhora a distribuição da luz. A vida útil desta lâmpada é de 2 anos para balastros electrónicos. Apresenta um índice de restituição de cor acima dos 90%. Este tipo de lâmpadas é usado como proposta de melhoria nas Zonas de Talho, Charcutaria, Café&Bolos e Peixaria diferenciando apenas da temperatura conforme o tipo de funções a exercer na zona.

Por último, a outra solução consta na aplicação do tipo *MASTER TLD ECO 51W* que consome 518,3 kWh a menos do que a lâmpada presentemente usada *MASTER TLD 58W*. A eficiência desta alternativa deriva da sua constituição física, uma vez que esta contém novos compostos de fósforos especiais que permitem obter a mesma luminosidade que a lâmpada actualmente instalada com menor consumo de energia. Na figura 5.18 encontra-se representada à esquerda a lâmpada actualmente existente (*MASTER TLD 58W*) e à direita a lâmpada proposta para substituição (*MASTER TLD ECO 51W*).



Figura 5.18 – Representação da lâmpada existente e de substituição [4].

Esta lâmpada tem uma vida útil de 4 anos para balastros electrónicos. Apresenta um índice de restituição de cor acima dos 85%. Esta alternativa foi proposta para as zonas de atendimento apresentando as condições desejadas.

Através da análise anterior concluímos que qualquer das propostas de melhoria considera-se um investimento favorável, ou seja, em todas as hipóteses o PRI é baixo (tabela 5.8) com poupanças bastantes consideráveis tanto a nível económico como a nível de eficiência e de ambiente.

Assim, visto na globalidade da implementação do projecto, a tabela 5.9 apresenta as diversas economias efectuadas a nível global.

Tabela 5.9 – Estudo efectuado na globalidade do projecto.

PROJECTO TOTAL				
Actual		Proposta de Melhoria		Economia
<i>Consumo energia (kWh)</i>	76038,3	<i>Consumo energia (kWh)</i>	65091,8	10946,5
<i>Investimento (€)</i>	-	<i>Investimento (€)</i>	7244,5	-
<i>Emissões de Co₂ (kg de CO₂)</i>	31936,1	<i>Emissões de Co₂ (kg de CO₂)</i>	27338,5	4597,6

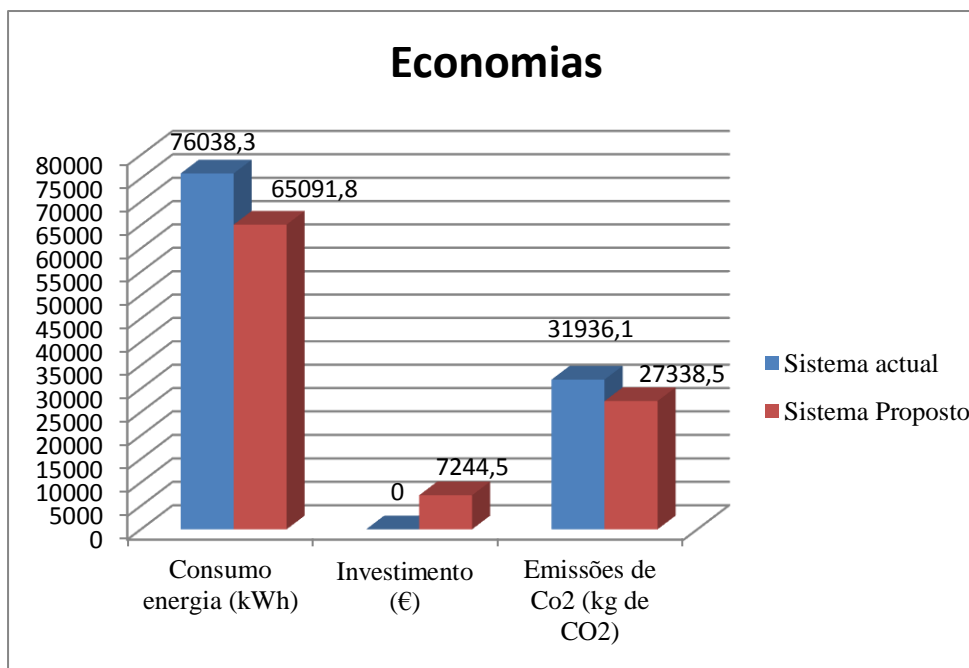


Figura 5.19 – Economias efectuadas com a implementação do novo projecto.

Através da análise do gráfico da figura 5.19, verificamos uma poupança significativa a nível de consumo de energia e uma diminuição considerável a nível de emissões de CO₂. Apesar de haver um investimento na implementação das novas propostas os lucros tornam o investimento favorável.

Em termos percentuais, consegue-se com esta substituição uma poupança de 15% no consumo de energia e 15% de emissões de CO₂.

Contudo, existem zonas onde nenhuma fase da metodologia se aplica, logo para essas zonas este projecto encontra-se sem solução, que é o caso da Zona de Frutas e Legumes. Esta zona apesar de constituir o mesmo tipo de lâmpadas das zonas do Talho, Peixaria, Charcutaria e Café&Bolos possui um pé direito de 3,3 em vez de 2,3, logo como a Zona de Frutas e Legumes necessita de ser realçada devido às cores dos alimentos, ao substituir as lâmpadas *OSRAM HQI T 70W* por *MASTERCOLOUR ELITE PLUS CDM-T 35W*, contendo esta metade da potência não vai satisfazer as condições desejadas. Assim, para esta zona foi estudado também diversas luminárias com ou sem suspensão, isto é, **Fase 3**, mas economicamente não são viáveis porque possuem um PRI elevado, que não vai compensar o investimento, como se verifica na tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Propostas de melhoria para a Zona de Frutas e Legumes.

Tipo de lâmpadas / luminárias	Nº de lâmpadas	Custo por lâmpada /luminária (€)	Custo total das lâmpadas / luminárias (€)	Vida útil (anos)	Consumo anual (kW/h)	Custo anual de energia consumida (€)	Custo Total + Manutenção (€)	Custo Total + mão-de-obra (€)	TIR (anos)
OSRAM HQI T 70W ND L UVS G12	6	32,2	192,9	2	1829,5	183,0	279,4	279,4	-
Propostas de melhoria para a Zona de Frutas e Legumes									
MAXOS TLD - PHILIPS MASTER TL-D XTREME SECURA 58W G13	6	135,4	406,2	17	1515,9	151,6	175,5	245,7	12,0
SPOT LED 3 18W	6	252,15	1512,9	17	470,4	47,0	184,6	258,4	12,3
UNICONE CAMPANULA - MPK541 CDM-Tm 35W/930	6	381,3	2287,8	17	914,8	91,5	226,1	260,0	13,4
MAGNEOS LED	4	467,4	1869,6	17	653,4	65,3	175,3	245,4	7,2

Por último a **Fase 4**, reedificação do sistema de iluminação, poderia ser uma alternativa, mas no caso desta zona os circuitos eléctricos encontram-se bem implementados e de acordo com a disposição da bancada de frutas e legumes.

Assim, nenhuma fase da metodologia apresentada aplica-se nesta zona, logo trata-se de uma zona sem solução de proposta de melhoria energeticamente mais eficiente.

É relevante realçar que todo este estudo foi efectuado para um Pingo Doce, nomeadamente de Famões, sendo este grupo constituído por uma vasta gama de supermercados, se estas propostas de melhoria forem projectadas para todos, ou quase todos, supermercados a economia tanto a nível de energia, numerário e emissões de CO₂ será importante para a sociedade e para o Grupo Jerónimo Martins, porque o impacte será bastante significativo em termos ambientais e económicos respectivamente.

É importante salientar que esta avaliação não pretende constituir uma crítica ao projecto, mas sim sobre a viabilidade da utilização de modelos virtuais no auxílio luminotécnico, com o fim de atingir o conforto e a qualidade necessários dos espaços projectados.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

As mudanças climáticas são fruto da actividade do homem e são atribuídas à emissão de gases em efeito de estufa, principalmente produzidas pela utilização de energia proveniente de combustíveis fósseis. Os efeitos dessas mudanças já se fazem sentir a nível global e é urgente tomar medidas que possam, no mínimo, estabilizar os seus efeitos.

No princípio da década de 80 do século passado, o petróleo estava cotado a aproximadamente 10 dólares o barril. Mesmo com a actual recessão, o petróleo está cerca de quatro vezes mais caro sendo que a sua transacção já atingiu os 100 euros por barril.

O consumo do petróleo se continuar em crescimento, as reservas desta fonte de energia num futuro próximo irão chegar ao fim, daí origina a necessidade de haver uma mudança tecnológica que altere significativamente a situação actual. A tomada de consciência desta realidade levou os responsáveis pelas políticas energéticas a implementar uma série de medidas que têm por objectivo a utilização eficiente dos recursos disponíveis e a adopção de sistemas energeticamente eficientes. Estas medidas são a chave para a mitigação do problema energético e das mudanças climáticas. O aumento da eficiência energética em toda a cadeia, desde a produção até ao consumo de energia eléctrica, também é extremamente importante, pois permitirá reduzir o consumo de energia primária.

A uniformidade de iluminâncias do espaço a iluminar é de igual modo um factor preponderante a ter em consideração no projecto luminotécnico, visto que a correcta homogeneidade da iluminância diminui a fadiga visual dos seus ocupantes.

6.1 Principais conclusões

A elaboração desta dissertação permitiu alertar para a necessidade da utilização de componentes energeticamente eficientes a serem empregues numa substituição que vise, além da diminuição da potência instalada, a necessidade de manter iluminâncias mínimas requeridas por parte dos utilizadores nas tarefas desenvolvidas. Foi efectuado um levantamento inédito no Pingo Doce de Famões, através do qual foram identificados os equipamentos de iluminação actualmente instalados em zonas com sistemas de iluminação completamente distintos. Estas zonas exigem condições específicas à tarefa a executar, tanto a nível de IRC como a temperatura de cor. Assim, foram estudadas várias propostas para o Grupo Jerónimo Martins de modo a converter o sistema actual num sistema de iluminação energeticamente mais eficiente reduzindo a potência instalada, o consumo de energia eléctrica e as emissões de CO₂.

O ganho energético e consequentemente o ganho económico-financeiro, assim como a diminuição da emissão da quantidade de CO₂ foram calculados, para cada uma das soluções apresentadas.

O estudo dos sistemas de iluminação visa na obtenção da eficiência energética. Para esta obtenção os supermercados devem atender às seguintes fases: verificação das condições pretendidas, substituição das lâmpadas, substituição das luminárias mais respectivas lâmpadas e por último refazer o projecto inicial.

A primeira fase consiste em verificar que tipo de iluminação existe e quais as condições desejadas para a zona. Dependente da zona e da função exercida, existem condições específicas tais, como: Temperatura de cor, IRC e Níveis de iluminação adequados. Caso estas condições estejam satisfeitas o processo é dado como concluído, caso contrário prossegue-se o estudo para determinar a melhor proposta de melhoria.

Depois de analisada a fase inicial, prosseguimos para uma das alternativas possíveis a modificar. Nesta fase a mudança incide apenas na alteração das lâmpadas porque é a proposta que apresenta maior facilidade de substituição e menos custos, tornando esta melhoria energeticamente eficiente e eficaz. Ao simular as lâmpadas são seleccionadas as que apresentam as condições desejadas para a zona em questão. Se houver mais do que uma hipótese prossegue-se para uma avaliação económica e eleger a melhor solução. A eleição é feita de acordo com o consumo de energia, investimento e o período de recuperação do investimento, ou seja, a proposta que apresentar-se energeticamente mais eficiente. Caso não existem lâmpadas que apresentem as especificações desejadas procedemos para a alteração do conjunto luminárias mais lâmpadas.

Posteriormente, procede-se à simulação destes conjuntos. As luminárias e as correspondentes lâmpadas que oferecem as especificações adequadas para a respectiva zona são seleccionadas. Seguidamente, das opções escolhidas avaliamos economicamente cada uma e escolhemos a solução mais eficaz. A escolha é feita de acordo com o consumo de energia, investimento e o período de recuperação do investimento, isto é, a proposta que apresentar mais eficiente conduzindo as condições pretendidas para a zona em questão.

Por último, caso nenhuma opção satisfaça as condições desejadas seguimos para a fase da reedificação do sistema de iluminação, ou seja, na alteração dos circuitos eléctricos. Em relação à simulação, o processo além de conter a posição das luminárias acarreta os tipos de luminárias e lâmpadas a utilizar nessa zona, daí ser uma fase que traduz a um investimento elevado. Depois de simular o novo sistema de iluminação são seleccionadas as que apresentam as condições desejadas para a zona em questão. Seguidamente, das opções escolhidas analisamos economicamente cada uma e escolhemos a solução mais eficiente e eficaz. A eleição é feita de acordo com o investimento e o período de recuperação do investimento, isto é, o projecto que apresentar-se mais eficiente é seleccionado se conduzir as condições pretendidas para a zona em questão.

Caso nenhuma destas fases consiga obter as condições desejadas os projectos encontram-se sem solução. Contudo, é imprescindível que o sistema de iluminação dê garantias de qualidade na iluminação de modo a oferecer conforto visual ao utilizador na execução das suas tarefas. Esta qualidade na iluminação é alcançada tendo em consideração vários parâmetros no momento da eleição das fontes de luz, tais como a temperatura da cor e da restituição de cores.

6.2 Perspectivas futuras

Como perspectivas de desenvolvimentos futuros para esta dissertação, sugere-se a monitorização contínua do consumo do sistema de iluminação artificial de modo a comprovar e avaliar as informações técnicas fornecidas pelos fabricantes do sistema de iluminação adoptado.

Um outro aspecto que poderá ser analisado numa fase posterior será a medição dos níveis de iluminação na área de trabalho para as zonas que foram propostas melhorias na instalação de modo a comprovar a viabilidade económico-financeira do investimento para o sistema de iluminação adoptado.

Um outro aspecto que poderá ser analisado numa fase posterior será a avaliação do grau de satisfação dos ocupantes dos espaços em que o sistema de iluminação será adoptado.

Atendendo que a eficiência energética do sistema de iluminação e a diminuição do consumo de energia eléctrica do sistema de iluminação artificial se deve substancialmente à integração do sistema de iluminação natural, seria interessante completar o trabalho desenvolvido com a introdução de clarabóias solares no edifício e ver a diferença dos níveis de iluminação e em termos económicos. Consequentemente, seria importante determinar a área a partir da qual os ganhos provenientes do sistema de iluminação natural deixam de ser vantajoso em detrimento do consumo energético do sistema de aquecimento/arrefecimento, visto que à medida que aumenta a área envidraçada num edifício aumentam as trocas de calor entre o seu interior e exterior.

Bibliografia

- [1]. **Direcção Geral de Energia e Geologia**. Áreas Sectoriais. [Online] [Citação: 15 de Janeiro de 2011.] <http://www.dgeg.pt/>.
- [2]. **EDP**. O que é a eficiência energética? . [Online] [Citação: 16 de Janeiro de 2011.] <http://www.eco.edp.pt>.
- [3]. **Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos**. Plano de Promoção de Eficiência no Consumo de Energia Eléctrica. [Online] [Citação: 19 de Janeiro de 2011.] <http://www.erse.pt>.
- [4]. **Philips**. Philips Lighting. [Online] Janeiro de 2009. [Citação: 17 de Dezembro de 2010.] http://www.lighting.philips.com/pt_pt/trends/legislation/.
- [5]. **AREALIMA - Agência Regional de Energia e Ambiente do Vale do Lima**. *Ilumina Lima*. [Versão Electrónica] Ponte de Lima : s.n.
- [6]. *Decreto-Lei n.º 29/2011 de 28 de Fevereiro*. **Diário da República n.º41- I Série**. Lisboa : Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento.
- [7]. *Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética - Portugal Eficiência 2015*. **Diário da República, I Séri - n.º97 - 20 de Maio de 2008**. Lisboa : s.n.
- [8]. **Ministério da Economia e da Inovação**. *Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE)*. [Versão electrónica] 2008.
- [9]. **Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos**. *Dicas para poupar energia*. [Versão electrónica] s.l. : ERSE, 2009.
- [10]. **E.E.E. - Empresa de Equipamento Eléctrico, S.A.** O CANDELA. *Norma EN 12464-1*. Vol. 3º e.
- [11]. **OSRAM**. *Iluminação: Conceitos e projectos*. [Versão Electrónica]
- [12]. **Guerrini, Délio Pereira**. *Iluminação - Teoria e Projecto, 2ª Edição*. São Paulo : Érica, Ltda, 2009.
- [13]. **Teixeira, Armínio**. *Iluminação Interior - O projecto luminotécnico*. [Versão Electrónica] Porto : FEUP, 2007.
- [14]. **Luz, Jeanine Marchioro da**. *Luminotécnica*. [Versão Electrónica]
- [15]. **OSRAM**. *Manual prático de iluminação*. [Versão Electrónica]
- [16]. **International Energy Agency (IEA)**. *Light's Labor's Lost - Policies for Energy-Efficient lighting*. France : OECD/IEA, 2006.
- [17]. **Martins, João**. *Diagramas Polares e sua Interpretação*. Lisboa : Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, 2009.
- [18]. **Hordeski, Michael F**. *New Technologies for energy efficiency*. Lilburn : The Fairmont Press, inc, 2003. ISBN: 0881-734381.
- [19]. European Lamp Companies Federation. *about lamps & lighting: Lamp types*. [Online] 2009. [Citação: 20 de Janeiro de 2011.] http://www.elcfed.org/1_health.html.
- [20]. **Alvarez-Caicoya, Jaime, J. Cosme-Torres, Antonio e I.Ortiz-Rivera, Eduardo**. *Compact Fluorescent Lamps, an Anticipatory Mind to Mercury*. Potentials, IEE, 2011, Vol. 30. ISBN: 0278-6648.
- [21]. **EETT-Energy Efficiency Training of Trainers**. *Manual Técnico de Gestão de Energia*. [Documento] Coimbra : ISR-Universidade de Coimbra, 2007.
- [22]. **Teixeira, Arminio**. *Iluminação Interior - Fontes Luminosas*. [Versão Electrónica] Porto : FEUP, 2006.
- [23]. **Bradshaw, Vaughn**. *The Building Environment: Active and Passive Control Systems*. New Jersey : Wiley, 2006. ISBN: 0471-689653.
- [24]. **Quellette, Michael, et al**. *New Program for investigating the performance of compact fluorescent lighting systems*. IEE Industrial Electronics Society, 2002. ISBN: 0-7803-0453-5.
- [25]. **Pinto, Rafael Adaime**. Projecto e implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando díodos emissores de luz (LEDs). *Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eléctrica*. Brasil : Universidade Federal de Santa Maria, 2008.
- [26]. **Araújo, Lucínio Preza de**. Tipos e características de lâmpadas. *Sistemas de iluminação*. [Online] 2000. [Citação: 09 de Março de 2011.] <http://www.prof2000.pt/users/lpa>.

- [27]. **Harris, Tom.** "How Light Emitting Diodes Work". *Led Advantages*. [Online] 31 de Janeiro de 2002. [Citação: 04 de Março de 2011.] <http://electronics.howstuffworks.com/led3.htm>.
- [28]. **Coutinho, Mónica Sofia.** *Avaliação das condições de Iluminação Natural através de Simulações em Modelos Virtuais*. [Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitectura] Lisboa : UTL, Instituto Superior Técnico, Maio, 2009.
- [29]. Iluminação lateral. [Online] [Citação: 4 de Abril de 2011.] http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0213/Arquivos_Anteriores/5_Cecace_2006_Iluminacao_Lateral_Estrategias_de_Projeto.pdf.
- [30]. Iluminação zenital. [Online] [Citação: 4 de Abril de 2011.] http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0213/Arquivos_Anteriores/7_Cecace_2006_Iluminacao_Zenital_Estrategia_de_Projeto.pdf.
- [31]. **DiLouie, Craig.** *Advanced Lighting Controls: Energy Savings, Productivity Technology and Applications*. Lilburn : The Fairmont Press, Inc., 2005. ISBN: 0-88173-511-6.
- [32]. **Initiative, Manual Efficient Lighting.** [autor do livro] Leonardo Assaf. *Procedimientos de Auditorías para la Evaluación de Instalaciones de Iluminación de Edificios no Residenciales*. Andima : s.n., 2009.
- [33]. *Perguntas & Respostas sobre os Regulamentos dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifício (RSECE) - Energia. Decreto-Lei 79/2006 de 4 de Abril*. Lisboa : Agência para a energia (ADENE), 2008.
- [34]. **Gaspar, Carlos.** *Eficiência Energética na Indústria*. [Cursos de utilização racional de energia] Gaia : ADENE - Agência para a energia, 2004.
- [35]. **Eder, Cristiane, et al.** *Avaliação dos Métodos da taxa Interna de Retorno modificada - Uma aplicação prática*. Porto alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- [36]. **Lopes, Diogo Nuno Pereira.** *Estudo da Eficiência Energética na Iluminação Pública com incorporação de Energias Renováveis*. [Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores] Vila Real : UTAD, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Julho, 2009.
- [37]. *DIALux Version 4.9 - The software Standard for Calculating Lighting Layouts*. Gustav, Adolf Strasse 4, 58507 Ludenscheid, 2011. 16th Edition.

Anexos